



**Abelardo Gregório
Banze**

**Caracterização geoquímica de sedimentos e águas
da bacia hidrográfica do rio Monapo (Nampula,
Moçambique)**



**Abelardo Gregório
Banze**

**Caracterização geoquímica de sedimentos e águas
da bacia hidrográfica do rio Monapo (Nampula,
Moçambique)**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e do Doutor Nuno Miguel dos Santos Durães, Bolseiro de Pós-Doutoramento do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Aos meus pais

Gregório Salomão Banze & Alima Amimo

(*Meus heróis*)

o júri

Presidente

Doutor Jorge Manuel Girão Medina
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Deolinda Maria dos Santos Flores Marcelo da Fonseca
Professora Catedrática da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (arguente)

Professor Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (orientador)

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por todos os dias da minha existência e por permitir que conseguisse chegar a este momento.

Um agradecimento especial vai à minha família, que mesmo distante, sempre me apoiou e encorajou a seguir os meus sonhos e a lutar por eles; por todos os esforços que realizaram para que este sonho se tornasse possível e sobretudo pela confiança diária no meu trabalho.

À Universidade Pedagógica de Moçambique e à Universidade de Aveiro pela bolsa de estudo e pela oportunidade que me deram para que continuasse com os meus estudos.

Um agradecimento muito especial ao meu orientador, Professor Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, que me ensinou e proporcionou uma aprendizagem sem igual, demonstrando uma disponibilidade contínua durante a realização do trabalho, mas também um sentido crítico muito apurado, permitindo assim o meu crescimento e maturidade científica.

Aos professores Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro Jorge Medina, Fernando Rocha, Senos Matias, Fernando Almeida, Maria do Rosário, José Francisco Santos, Nuno Cruz e Beatriz Aguado e aos investigadores e técnicos do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, em especial ao Doutor Nuno Durães, à Doutora Carla Patinha, à Dra. Ana Cláudia Dias e à Eng. Denise Terroso, agradeço pela ajuda, disponibilidade e paciência que sempre tiveram durante a realização do trabalho e de todo o curso.

Ao Lucas Terres Lima (pelo apoio informático e pela amizade), ao António Fortes, Assane Pena, Felisberto Lima, José Emílio e Osvaldo Rupias pela verdadeira amizade, sermões nos momentos certos, espírito crítico, momentos de lazer e irmandade.

Por fim, e não menos importante, a todos aqueles que fizeram parte deste mestrado entre colegas, docentes com quem tive a honra de aprender imenso, a toda a equipa dos departamentos de Geociências e Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, agradeço a partilha de experiências e momentos durante este período.

MUITO OBRIGADO!

palavras-chave

Geoquímica, sedimentos de corrente, águas de superfície, rio Monapo, Nampula, Moçambique

resumo

O presente trabalho teve como principal objetivo a caracterização de baixa densidade geoquímica de sedimentos e águas da bacia hidrográfica do rio Monapo (Moçambique). O rio Monapo nasce e desagua na província de Nampula e constitui o eixo principal de uma bacia hidrográfica com o mesmo nome, cuja área tem uma extensão de aproximadamente 8.780 km². Devido à fraca capacidade distribuição de água potável para o consumo humano, ao longo do rio Monapo é comum observar-se a população local a recorrer diretamente às águas do rio para consumo doméstico e irrigação dos campos agrícolas.

Para realização do estudo foram selecionados 8 locais de amostragem na bacia do rio Monapo, distribuídos de montante a jusante da linha de água principal. A escolha dos locais foi feita previamente, de acordo com a identificação das acessibilidades e das linhas de água mais influentes na bacia. Em cada ponto foi feita a recolha de amostras de sedimentos de corrente e água de superfície, as quais foram depois submetidas a análises geoquímicas (águas e sedimentos) e mineralógicas (sedimentos).

Quer nas águas, quer nos sedimentos, as variações dos teores dos elementos analisados, ao longo do perfil do rio Monapo, são pouco expressivas, não se tendo evidenciado indícios de contaminação inorgânica nas amostras analisadas. Estes valores poderão servir de base à definição de um padrão de fundo geoquímico da região.

As águas, levemente alcalinas e com baixa carga iónica, apresentam uma fácies hidrogeoquímica bicarbonatada sódico-magnésiana a sódica.

Nos sedimentos de corrente, os resultados obtidos evidenciam que as concentrações dos elementos analisados são superiores na fração <0,180 mm em relação à fração <2 mm. Um caso mais evidente desta diferença foi para os Elementos de Terras Raras (ETR), principalmente algumas do grupo das leves. Os elevados teores de alguns dos ETR revelou-se um aspeto de especial interesse, paralelo ao objetivo inicial deste trabalho, mais focado numa vertente de caracterização ambiental, dada a elevada procura e valor económico destes elementos.

Estudos de maior detalhe deverão ser conduzidos nesta região, em especial nas zonas que apresentaram valores mais anómalos em relação aos teores típicos, reportados na bibliografia.

keywords

Geochemistry, stream sediments, surface waters, Monapo river, Nampula, Mozambique

abstract

The main aim of this study was the low-density geochemical characterization of stream sediments and waters from Monapo river basin (Mozambique). The Monapo River rises and flows into Nampula province and is the main stream of Monapo basin, which shows an area of approximately 8,780 km². Due to low supply capacity of potable water for human consumption, is frequently observed the direct use of the River Monapo waters, either for domestic consumption, or for land irrigation.

Eight sampling sites from Monapo River basin were selected, distributed from the spring to downstream of the main stream. The selection was made taking into account the accessibilities and the most important tributaries of the basin. At each site was taken stream sediments and water samples, which were then subjected to geochemical (waters and sediments) and mineralogical (sediment) analysis.

Both in waters and sediments unexpressive changes in levels of the analyzed elements were determined along the Monapo river profile. No evidences inorganic contamination were found for the analyzed samples. These values may can be used as a basis in the definition of a local geochemical background.

The waters, slightly alkaline and with low ionic content, show a sodic-magnesian bicarbonate hydrogeochemical facies.

In stream sediments, the concentrations of the analyzed elements in the <0,180 mm size fraction are higher than in the <2 mm size fraction. A more evident regarding this difference was observed for Rare Earth Elements (REE), especially for some of the light REE. The high concentrations of some REE became of particular interest, parallel to the initial objective of this work more focused on environmental characterization topics, due to the high demand and economic value of these elements.

More detailed studies should be conducted in this region, particularly at sites that showed chemical anomalous concentrations compared to the typical levels reported in the literature.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1. Localização da área de estudo	5
2.2. Climatologia	7
2.3. Recursos hídricos	7
2.4. Enquadramento geológico	9
2.5. Solos	11
2.6. Uso da terra e cobertura vegetal	12
2.7. Atividades económicas	13
2.7.1. Agricultura	13
2.7.2. Produção pecuária	14
2.7.3. Produção pesqueira	14
2.7.4. Exploração mineira	15
2.8. Saúde	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1. Amostragem	17
3.1.1. Caracterização dos pontos de amostragem	18
3.2. Preparação de amostras	19
3.2.1. Amostras de sedimentos	19
3.2.2. Amostras de águas	22
3.3. Métodos de análise	22
3.3.1. Determinação dos parâmetros físico-químicos	22
3.3.2. Determinação das concentrações de elementos maiores e vestigiais	23
3.3.3. Determinação das concentrações de aniões nas águas	25
3.3.4. Análise mineralógica	26
3.4. Análise dos Dados	28
3.4.1. Tratamento estatístico de dados	28
3.4.2. Definição dos valores de referência	29
3.4.3. Critérios de qualidade para as águas e respectiva classificação	30
3.4.3.1. Diagrama de Piper	30
3.4.3.2. Diagrama de Stiff	30
4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	31
4.1. Sedimentos de Corrente	31
4.1.1. Caracterização mineralógica das amostras de sedimentos	31
4.1.2. Análise geoquímica	32
4.1.2.1. Análise estatística univariada	32
4.1.2.2. Análise estatística bivariada	35
4.1.2.3. Análise detalhada do comportamento dos Elementos de Terras Raras (ETR) nos sedimentos de corrente	35
4.1.2.4. Análise estatística por Classificação Hierárquica Ascendente	40
4.2. Águas de Superfície	43
4.2.1. Análise estatística univariad	43
4.2.2. Análise estatística bivariada	44
4.2.3. Análise estatística por Classificação Hierárquica Ascendente	44
4.2.4. Tipologia e classificação das águas	45
5 SÍNTESE DESCRITIVA DOS DADOS GEOQUÍMICOS	49
5.1. Sedimentos de corrente	49
Prata (Ag)	49
Alumínio (Al)	50
Arsénio (As)	50

Bário (Ba)	51
Bismuto (Bi)	52
Cálcio (Ca)	52
Cádmio (Cd)	53
Cério (Ce)	54
Cobalto (Co)	55
Crómio (Cr)	55
Césio (Cs)	56
Cobre (Cu)	57
Disprósio (Dy)	58
Érbio (Er)	58
Európio (Eu)	59
Ferro (Fe)	59
Gálio (Ga)	60
Gadolínio (Gd)	61
Hólmio (Ho)	62
Potássio (K)	62
Lantânio (La)	63
Lítio (Li)	64
Lutécio (Lu)	64
Magnésio (Mg)	65
Manganês (Mn)	66
Molibdénio (Mo)	67
Sódio (Na)	67
Nióbio (Nb)	68
Neodímio (Nd)	69
Níquel (Ni)	69
Fósforo (P)	70
Chumbo (Pb)	71
Praseodímio (Pr)	72
Rubídio (Rb)	72
Antimónio (Sb)	73
Escândio (Sc)	74
Samário (Sm)	75
Estanho (Sn)	75
Estrôncio (Sr)	76
Tântalo (Ta)	77
Térbio (Tb)	77
Tório (Th)	78
Titânio (Ti)	79
Tálio (Tl)	79
Túlio (Tm)	80
Urânio (U)	81
Vanádio (V)	81
Tungsténio (W)	82
Ítrio (Y)	83
Itérbio (Yb)	84
Zinco (Zn)	84
Zircónio (Zr)	85
5.2 Águas de superfície	86
Potencial hidrogeniónico (pH)	86
Condutividade elétrica (C.E.)	86

Arsénio (As)	87
Bário (Ba)	87
Cálcio (Ca)	88
Cádmio (Cd)	89
Cloro (Cl)	89
Cobalto (Co)	90
Crómio (Cr)	90
Cobre (Cu)	91
Ferro (Fe)	91
Potássio (K)	92
Magnésio (Mg)	93
Manganês (Mn)	93
Molibdénio (Mo)	94
Sódio (Na)	94
Níquel (Ni)	95
Sulfato (SO ₄)	96
Tálio (Tl)	96
Urânio (U)	97
Vanádio (V)	97
6.CONCLUSÕES	99
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
8. ANEXOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Comportamento físico de uma linha de água ao longo do seu percurso (adaptado de https://ds.lclark.edu/sge/2012/11/15/river-dynamics-fluvial-system-fundamentals/)	3
Figura 1.2 – Formas de transporte da componente sólida (sedimento) num curso de água.	3
Figura 2.1 - Localização geográfica de Moçambique (mapa de base extraído de www.maplibrary.org).	5
Figura 2.2 - Localização da província de Nampula (mapa de base extraído de www.maplibrary.org).	6
Figura 2.3 - Mapa de precipitação anual média de Moçambique (extraído de http://www.atlasrenovaveis.co.mz/pt-pt/conteudo/recurso-hidrico).	7
Figura 2.4 - Localização da Bacia hidrográfica do rio Monapo (mapa de base extraído de www.maplibrary.org).	8
Figura 2.5 - (a) As grandes divisões geológicas de Moçambique (extraído de Vasconcelos, 2014); (b) Geologia da região de Nampula (excerto da Carta Geológica de Moçambique 1:1000000 - as legendas do mapa são apresentadas no anexo 1).	9
Figura 2.6 - Distribuição geográfica dos solos de Nampula (fonte: http://mapas.cnpm.embrapa.br/mocambique/mapa.html).	11
Figura 2.7 - Mapa de uso e cobertura do solo (fonte: http://mapas.cnpm.embrapa.br/mocambique/mapa.html).	12
Figura 3.1 – Localização dos pontos de amostragem.	17
Figura 3.2 - Vistas panorâmicas dos pontos de amostragem: (a) - ponto 2, (b) – ponto 4, (c) – ponto 7, (d) - ponto 8. (ver Figura 3.1 para localização)	18
Figura 3.3 - Fluxograma da preparação e análise das amostras de sedimentos de corrente.	20
Figura 3.4 - Preparação de amostras: (a) estufa usada para secar as amostras; (b) amostras já secas.	20
Figura 3.5 – Peneiramento das amostras: (a) Peneiros da séries ASTM; (b) Agitador e coluna de peneiração .	21
Figura 3.6 – Moinho de ágata utilizado na moagem das amostras.	21
Figura 3.7 - Fluxograma da preparação e análise das amostras de águas superficiais.	22
Figura 3.8 - (a) Condutivímetro e (b) medidor de pH utilizados na determinação da condutividade elétrica e pH nas águas.	22
Figura 3.9 - ICP-MS da marca Agilent, modelo 7700, utilizado na análise química dos elementos maiores e vestigiais das águas.	25
Figura 3.10 - Cromatógrafo da marca DIONEX, modelo 2000 SPI utilizado na análise aniónica das águas.	26
Figura 3.11 - Esquema da difração de Bragg (https://en.wikipedia.org/wiki/File:BraggPlaneDiffraction.svg).	27
Figura 3.12 – Difractómetro de raios-X Philips X'Pert MPD, utilizado na análise mineralógica dos sedimentos.	27
Figura 4.1 – Difractogramas sobrepostos das amostras de sedimentos (<0.180 µm) analisadas por DRX.	32
Figura 4.2 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável ΣETR e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).	38
Figura 4.3 - Repartição percentual entre as concentrações em Elementos Terras Raras Leves (ETRL), Elementos de Terras Raras Intermédias (ETRI) e Elementos de Terras Raras Pesadas (ETRP) nas amostras de sedimentos de corrente do rio Monapo e dos seus afluentes principais.	39
Figura 4.4 – Perfis de distribuição dos ETR (normalizadas ao NASC) das amostras de sedimentos de corrente do rio Monapo e dos seus afluentes principais: (a) fração <2 mm; (b) fração <0,180 mm.	40
Figura 4.5 - Dendrograma resultante da aplicação da Classificação Hierárquica em Modo R e Modo Q dos dados relativos à fração <2 mm.	41
Figura 4.6 - Dendrograma resultante da aplicação da Classificação Hierárquica em Modo R e Modo Q dos dados relativos à fração <0,180 mm.	42
Figura 4.7 - Dendrograma resultante da aplicação da Classificação Hierárquica Ascendente em Modo R e Modo Q das variáveis relativas à análise de águas de superfície	45
Figura 4.8 – Projecção das amostras de água no diagrama de Piper e respetiva classificação de acordo com a abundância dos iões maiores em águas.	46
Figura 4.9 – Distribuição espacial das amostras de água de acordo com a projecção Stiff.	46
Figura 5.1 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ag; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).	49
Figura 5.2 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Al; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm)	50

[illegible]

[illegible]

Figura 5.63 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Fe e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	92
Figura 5.64 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável K e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	92
Figura 5.65 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mg e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	93
Figura 5.66 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mn e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	93
Figura 5.67 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mo e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	94
Figura 5.68 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Na e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	95
Figura 5.69 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ni e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	95
Figura 5.70 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável SO ₄ e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	96
Figura 5.71 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Tl e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	97
Figura 5.72 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável U e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	97
Figura 5.73 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável V e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Produção Global de 2014 (valores com base nos preços de 2013).	13
Tabela 2.2. Dados da produção agrícola relativos à campanha de 2013/2014 (adaptado de GPN, 2015).	14
Tabela 2.3. Dados da produção pecuária relativos a 2014 (adaptado de GPN, 2015).	14
Tabela 2.4. Dados da produção pesqueira relativos a 2014 (adaptado de GPN, 2015).	15
Tabela 2.5. Dados da produção mineira relativa a 2014 (adaptado de GPN, 2015).	16
Tabela 2.6. Dados relativos a doenças de notificação obrigatória no ano 2014 (adaptado de GPN, 2015).	16
Tabela 3.1. Informação relativa à localização e codificação das amostras de sedimentos e águas do rio Monapo e seus afluentes	18
Tabela 3.2. Valores guia recomendados (TEC, MEC e PEC) para o As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb e Zn e níveis associados para a avaliação da qualidade do sedimento (adaptado de Consensus - Based Sediment Quality Guidelines (2003).	29
Tabela 4.1. Mineralogia nas amostras de sedimentos de corrente.	31
Tabela 4.2. Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras / teores totais das 40 variáveis em análise) p a fração < 2mm. Todas as variáveis são expressas em mg kg ⁻¹ com exceção das variáveis Fe, Ca, P, Mg, Ti, Al, Na e K, expressas em % e da Ag, expressa em µg kg ⁻¹ .	33
Tabela 4.3. Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras / teores totais das 40 variáveis em análise) para a fração <0,180 mm. Todas as variáveis são expressas em mg kg ⁻¹ com exceção das variáveis Fe, Ca, P, Mg, MO, Ti, Al, Na, K e S, expressas em % e da Ag, expressa em µg kg ⁻¹ .	34
Tabela 4.4. Correlações consideradas significativas (> 0,7) na fração <2 mm entre os diferentes elementos analisados (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).	35
Tabela 4.5 Correlações consideradas significativas (> 0,7) na fração <0,180 mm entre os diferentes elementos analisados (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).	35
Tabela 4.6. Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras/ teores totais em ETR) para a fração <2 mm e <0,180 mm. Todas as variáveis são expressas em mg kg ⁻¹ .	36
Tabela 4.7. Correlações consideradas significativas (> 0,7) na fração <2 mm entre os diferentes elementos analisados e as ETR (correlações positivas).	37
Tabela 4.8. Correlações consideradas significativas (> 0,7) na fração <0,180 mm entre os diferentes elementos analisados e as ETR (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).	37
Tabela 4.9. Síntese dos dados das concentrações dos ETR, razões e cálculo das principais anomalias para cada um dos pontos de amostragem.	39
Tabela 4.10. Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras/ teores na componente dissolvida das 21 variáveis em análise). As variáveis são expressas em µg L ⁻¹ com exceção das variáveis Fe, Ca, P, Mg, Al, Na, K e SO ₄ , expressas em mg L ⁻¹ .	43
Tabela 4.11. Correlações consideradas significativas (> 0,7) para os parâmetros físico-químicos e os elementos maiores e vestigiais nas águas (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).	44

LISTA DE ABREVIATURAS

EN – Estrada Nacional

Ga – Giga anos

GPN – Governo Provincial de Nampula

ICP-MS - Inductively Coupled Plasma – Mass spectrometry (Espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo)

INE – Instituto Nacional de Estatística

LTB – Lúrio Tectonic Belt

Ma – Milhões de anos

MT – Meticais

NMS – Cisalhamento de Namama

RAS – República da África do Sul

SGK – Supergrupo do Karoo

SREA – Sistema do Rifte Este Africano

SSZ – Zona de Cisalhamento de Sanângoè

TGG – Terrenos de Granitos-Greenstone

TS – Suite de Tete

WHO – World Health Organization

1. INTRODUÇÃO

A geoquímica ambiental ocupa-se do estudo das fontes, distribuição e as interações dos elementos químicos no sistema rocha-solo-água-ar-plantas-humanos (Bowie & Thornton, 1985). Envolve, portanto, o estudo da circulação de todos os elementos na natureza e não apenas de determinados grupos tais como os elementos nutrientes e outros sem atribuição de toxicidade (Fortescue, 1980). Um dos campos de ação desta área científica das geociências está relacionado com o impacto da atividade humana nos recursos naturais, particularmente no que se refere ao incremento dos teores de elementos químicos potencialmente tóxicos nas águas e nos sedimentos, o qual é um fator crítico para a qualidade de vida das populações.

Bowie & Thornton (1985) consideram uma divisão dos elementos em três grupos: o grupo dos elementos maiores (Ca, Fe, K, Mg, Na e P), que são elementos fundamentais na saúde das plantas, animais e homem, sendo também importantes no controlo da distribuição primária e na dispersão secundária dos elementos vestigiais; o grupo dos elementos vestigiais (Co, Cr, Cu, F, (Fe), I, Mn, Mo, Ni, V, Se e Sn), também essenciais para a biota, e os primeiros elementos da linha de transição; e o grupo formado pelo As, Cd, Hg e Pb, representativo dos elementos capazes de provocarem efeitos fisiológicos adversos, mesmo em quantidades reduzidas. De acordo com os mesmos autores, existem evidências suportadas, quer pela informação de estudos de geoquímica ambiental quer pelos resultados de análises clínicas, que o atraso no crescimento ou a suscetibilidade a certas doenças estão associados a desequilíbrios por excesso ou deficiência de determinados elementos. Por conseguinte, em regiões com intensa atividade industrial e/ou mineira, pode ocorrer um aumento significativo da concentração dos elementos potencialmente tóxicos nas águas, solos e sedimentos passíveis de causar impactos ambientais graves e efeitos de toxicidade para os seres vivos, com particular destaque para o homem.

Os processos naturais têm um primeiro papel preponderante na definição das características físico-químicas e químicas dos sedimentos de corrente e das águas superficiais. Portanto, num curso de água estas características não são influenciadas apenas por contaminações introduzidas por via antrópica, mas também pelo contributo da componente geogénica. Deste modo, a composição química da água natural reflete os contributos de diferentes fontes, das quais se destacam os gases e aerossóis da atmosfera, material resultante da erosão das rochas e solo, mistura de fases aquosas e/ou reações de precipitação, e os efeitos de atividades antrópicas (Hem, 1985).

O uso da água para consumo doméstico, agricultura e atividades industriais faz com que esta seja devolvida ao meio (fontes primárias) com um grau de contaminação mais ou menos significativo, o que pode colocar em risco os recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos.

Os corpos de água não são estáticos. Estes apresentam uma dinâmica própria que transporta, a curta, média ou longa distância, e na direção do fluxo, os elementos desde a sua fonte geogénica ou antropogénica para outros locais, sendo que a concentração desses elementos varia no espaço

e no tempo. Por conseguinte, quanto mais intensa for a velocidade do fluxo superficial ou subterrâneo, mais rapidamente o poluente se afastará da fonte. A concentração de substâncias dissolvidas ou em suspensão em meios fluidos é também função de processos difusivos (Braga et al., 2007).

A variação da concentração de um determinado elemento nos sedimentos de corrente e nas águas naturais, ao longo do curso de um rio, depende das formações rochosas atravessadas e do registo histórico das atividades desenvolvidas no local. Em águas correntes os materiais sólidos dissolvidos e suspensos provêm do escoamento superficial, da fonte ou nascente e contributos de águas subterrâneas. A presença de concentrações anómalas de elementos vestigiais em materiais com os quais as águas contactam diretamente, pode produzir uma anomalia hidrogeoquímica por dissolução das respetivas fases mineralógicas onde esses elementos ocorrem.

A chuva e o escoamento superficial desempenham um papel importante nas anomalias hidrogeoquímicas, principalmente nas regiões climáticas onde a chuva é sazonal. Normalmente a composição das águas superficiais é relativamente estável no tempo seco. Nos cursos de água, esse fluxo estável é denominado pelo fluxo base e é derivado da descarga gradual de águas relativamente profundas. Em épocas chuvosas, dois fatores são determinantes para a concentração de elementos nos cursos de água, nomeadamente a diluição do fluxo base e a lavagem de minerais solúveis acumulados (Rose et al., 1979).

Assim, os cursos de água funcionam concomitantemente como agentes erosivos/lixiviadores, transportadores e acumuladores (Figura 1.1) dos elementos químicos, nomeadamente dos elementos potencialmente tóxicos. Muito deste ciclo ocorre na fase sólida (sedimentos de corrente – Figura 1.2), cuja origem pode ser muito diversa e representarem a mistura de diferentes fontes, próximas ou distantes. Algumas dessas anomalias podem ter surgido da erosão ou do transporte de solos ricos em metais ou de zonas mineralizadas aflorantes (ex.: gossans). Por vezes, a própria precipitação a partir da fase dissolvida pode também contribuir para o enriquecimento de determinados elementos na fração sólida.

Países subdesenvolvidos, como é o caso de Moçambique, apresentam níveis elevados de pobreza e fraca capacidade de distribuição de água potável para o consumo humano. Nessas circunstâncias a população sente-se forçada a utilizar poços artesanais ou a recorrer às águas superficiais de lagos, lagoas, rios e riachos para o seu abastecimento e consumo, sem que as mesmas sejam submetidas a qualquer tipo de tratamento prévio.

Ao longo do rio Monapo, localizado em Nampula, província nortenha de Moçambique, é muito comum as populações locais recorrerem ao uso direto da água do rio e seus afluentes. Por isso, a elaboração de uma base de dados e de um mapeamento geoquímico e hidrogeoquímico dos sedimentos e águas da região é uma tarefa necessária e urgente para se detetarem zonas com

enriquecimentos anómalos em elementos potencialmente tóxicos e se compreenderem os riscos da sua exposição pelas populações locais.

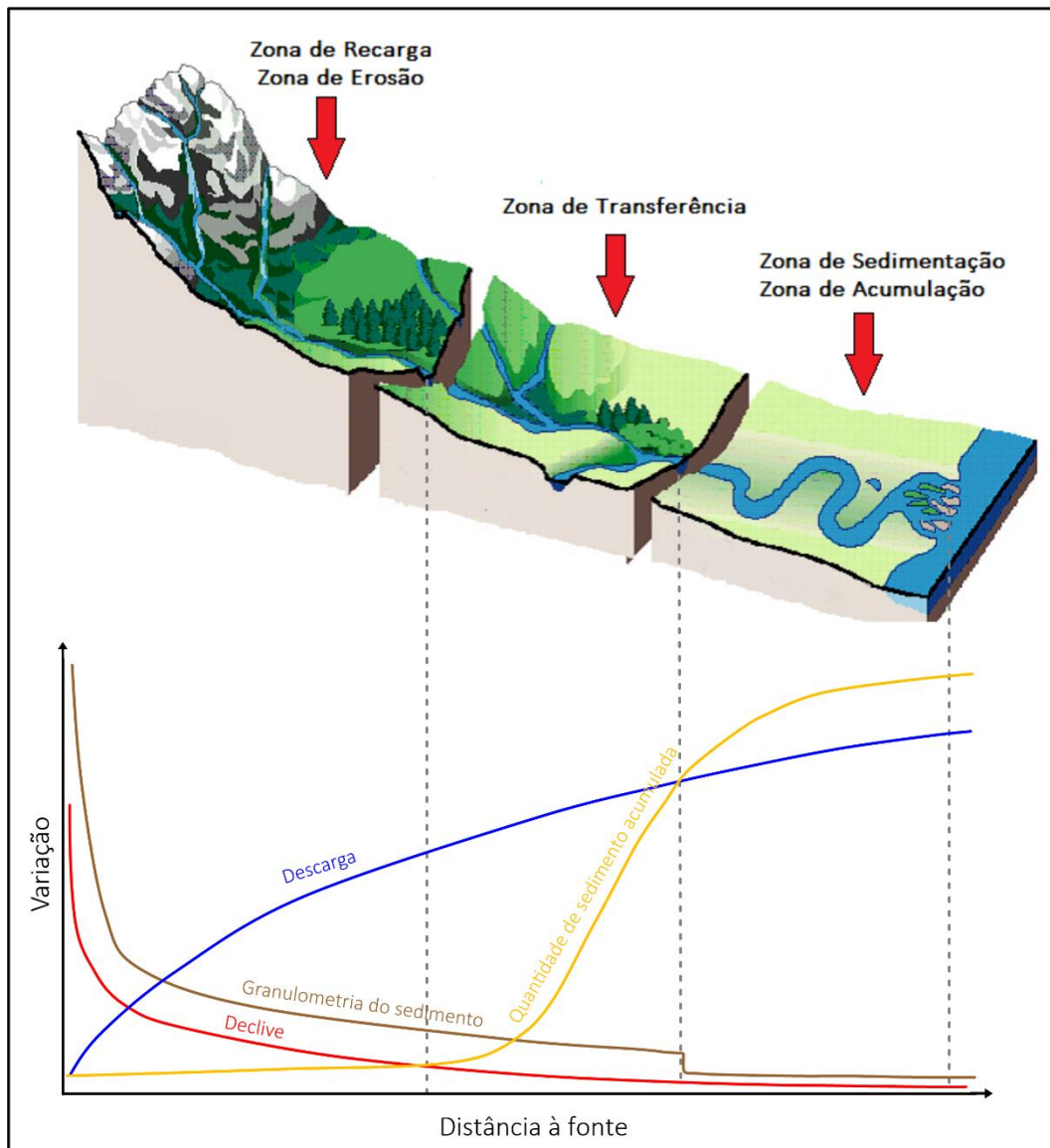


Figura 1.1 – Comportamento físico de uma linha de água ao longo do seu percurso (adaptado de <https://ds.lclark.edu/sge/2012/11/15/river-dynamics-fluvial-system-fundamentals/>).

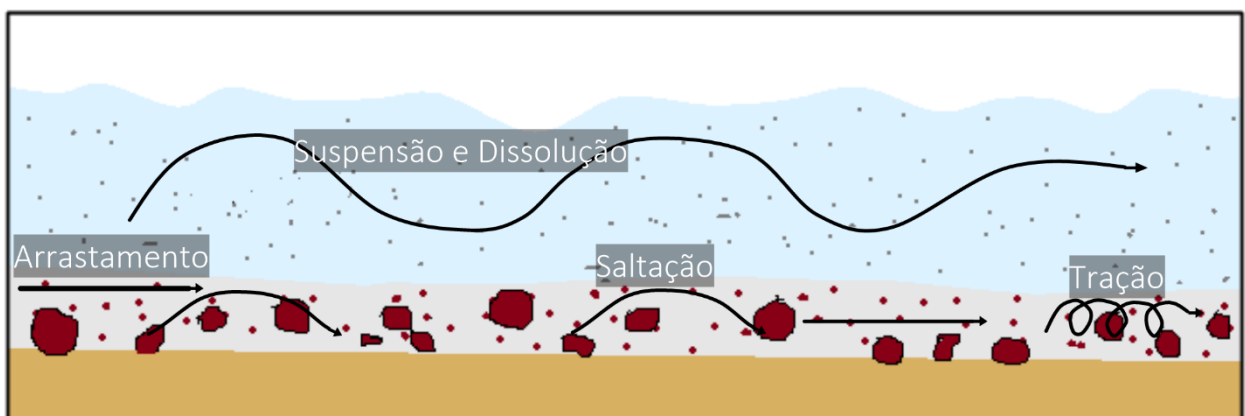


Figura 1.2 – Formas de transporte da componente sólida (sedimento) num curso de água.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo uma caracterização geoquímica de baixa densidade dos sedimentos e águas da bacia hidrográfica do rio Monapo, com a finalidade de definir as áreas com maiores concentrações de elementos potencialmente tóxicos, ou seja, identificar as zonas com maior grau de contaminação, estabelecer um paralelismo com as possíveis fontes dessa contaminação ambiental e os riscos para as populações. No caso dos sedimentos pretendeu-se ainda verificar a ocorrência e o enriquecimento em elementos com elevado interesse económico.

Por conseguinte, este trabalho pretende ser uma base para o desenvolvimento de estudos futuros, relacionados com trabalhos de geoquímica de elevada densidade, a incidir nos locais previamente definidos neste trabalho, dada a elevada extensão desta bacia hidrográfica.

2.ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização da área de estudo

Geograficamente, Moçambique localiza-se na região da África Austral e na costa Sudeste do continente africano (Figura 2.1), entre os paralelos $10^{\circ} 27'$ Sul, a jusante do rio Rovuma e $26^{\circ} 52'$ Sul, a montante do rio Maputo e Ponta de Ouro, e entre os meridianos $30^{\circ} 12'$ Este, no rio Aruanga (Zumbo-Tete) e $40^{\circ} 51'$ Este, na Ponta Quitangonha (Muchangos, 1999).

O país faz fronteira a Norte com a Tanzânia, a Noroeste com o Malawi e a Zâmbia, a Oeste com o Zimbábue, a Sudoeste com a República da África do Sul (RAS) e a Suazilândia, a Sul, novamente com a RAS e a Este com o oceano Índico através do Canal de Moçambique, (Figura 2.1). A superfície total do país é de 919.380 km^2 dos quais 786.380 km^2 constituem terra firme, 13.000 km^2 águas interiores e 120.000 km^2 superfície marinha (Muchangos, 1999).

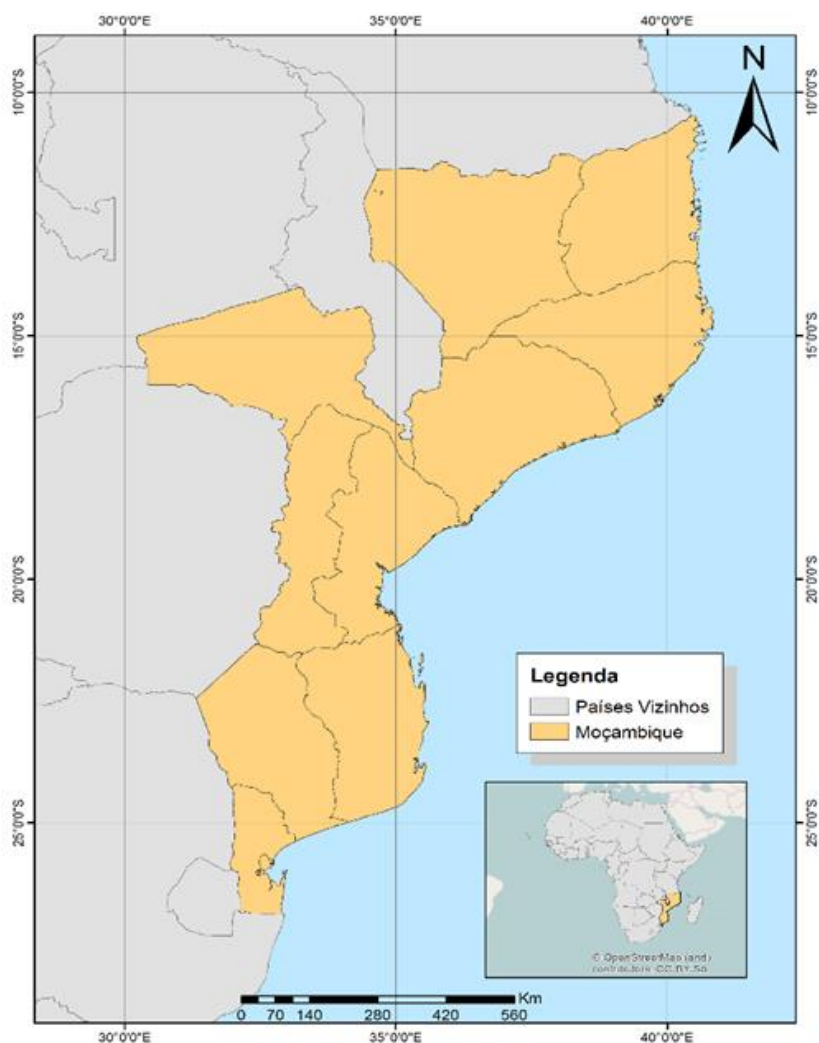


Figura 2.1 - Localização geográfica de Moçambique (mapa de base extraído de www.maplibrary.org).

A Província de Nampula (Figura 2.2), com uma área de 81.606 km^2 é constituída por 23 distritos e localiza-se a Norte de Moçambique (coordenadas limítrofes $13^{\circ}29'$ e $15^{\circ}54' 10''$ Latitude Norte,

36°41'51" e 40°47'57" Longitude Este). Nampula é limitada a Norte pelas províncias de Cabo Delgado e Niassa, a Sul pela província da Zambézia, a Este pelo Canal de Moçambique (Oceano Índico) e a Oeste pelas províncias de Niassa e Zambézia.



Figura 2.2 - Localização da província de Nampula (mapa de base extraído de www.maplibrary.org).

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), em 2014, a população da Província de Nampula possuía 4887839 habitantes, sendo a mais populosa do País. A densidade populacional é de 58 habitantes por km².

Os indicadores sociodemográficos da Província de Nampula apontam para que o ritmo de crescimento da população seja superior ao valor médio nacional (2,1%), situando-se na ordem de 2,9% e a taxa bruta de natalidade é de 41,3/1.000 habitantes, enquanto a esperança média de vida é de 54,5 anos.

2.2 Climatologia

O clima da província de Nampula é do tipo semiárido a sub-húmido seco. A precipitação média anual varia de 800 a 1200 mm, enquanto a evapotranspiração potencial anual de referência varia entre os 1300 e 1500 mm (Figura 2.3). A precipitação média anual pode localmente, em algumas regiões, exceder por vezes os 1500 mm, tornando-se o clima do tipo sub-húmido chuvoso. Em termos da temperatura média anual, durante o período de crescimento das culturas, há regiões cujas temperaturas excedem os 25 °C, embora em geral a temperatura média anual varie entre os 20 e 25 °C.

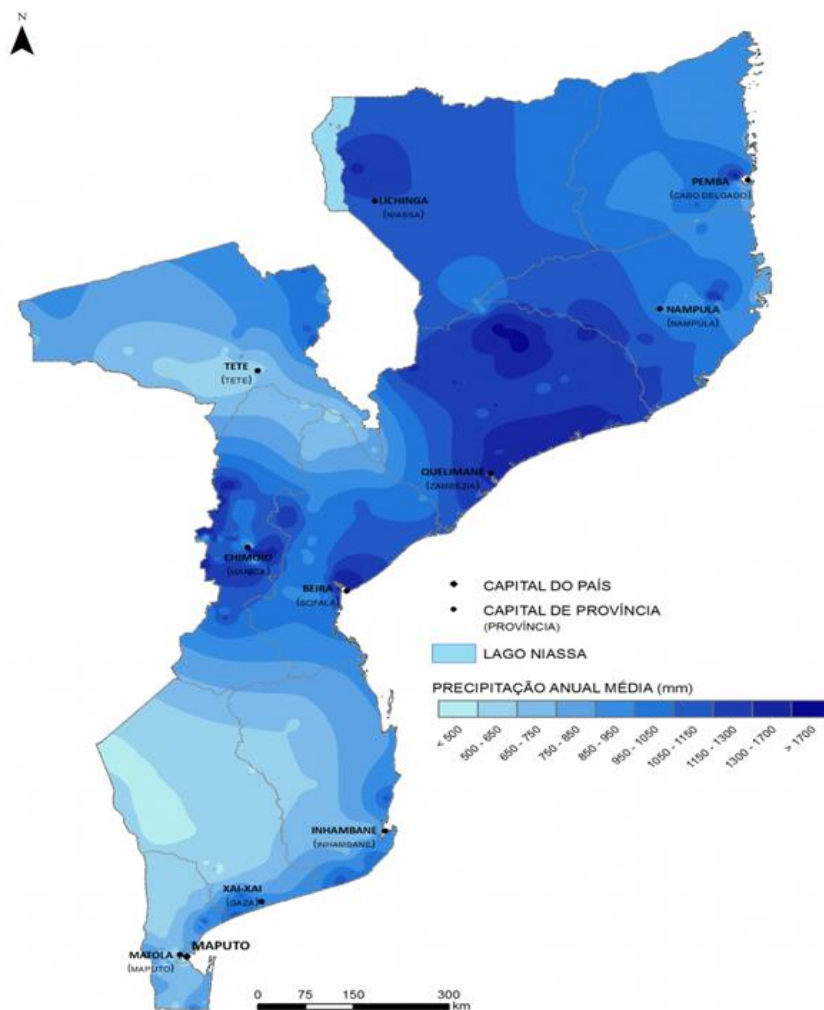


Figura 2.3 - Mapa de precipitação anual média de Moçambique (extraído de <http://www.atlasrenovaveis.co.mz/pt-pt/conteudo/recurso-hidrico>).

2.3 Recursos hídricos

As principais bacias hidrográficas que drenam o país, de norte para sul, são: Rovuma, Messalo, Montepuez, Lúrio, Monapo, Ligonha, Licungo, Zambeze, Púnguè, Búzi, Save, Govuro, Inharrime, Limpopo, Incomáti, Umbelúzi, Tembe e Maputo. Os grandes cursos de água moçambicanos são

de abastecimento predominantemente pluvial, de regime periódico, apesar da maioria dos seus afluentes serem de regime ocasional.

A maior parte dos rios de Moçambique drena as suas águas de oeste para leste, devido à configuração do relevo, e atravessam sucessivamente montanhas, planaltos e planícies, desaguando no Oceano Índico (Muchangos, 1999).

Todos os rios da Província de Nampula nascem dentro da província, sendo os principais os rios Lúrio e Monapo. Estes rios são, na sua maioria, de regime periódico, e de grande importância para o quotidiano e subsistência das populações. Estes são fonte de abastecimento de água e peixe, e as terras banhadas por estes rios são férteis para agricultura. Existem na província vários riachos e lagoas de regime periódico e temporário.

O rio Monapo nasce no interior da província de Nampula, mais concretamente no distrito de Mecuburi, e abastece, para além da cidade de Nampula, a vila de Monapo, e algumas companhias industriais localizadas em Namialo, assim como a plantação de banana da Matanuska. As suas águas são usadas pela população que reside nas proximidades do rio para irrigar campos agrícolas e para consumo doméstico.

A bacia do rio Monapo tem aproximadamente 8780 km² (Figura 2.4) e atravessa diferentes unidades geológicas. Nas margens do rio desenvolvem-se vastas planícies aluviais formadas a partir da deposição de sedimentos transportados pelas águas.

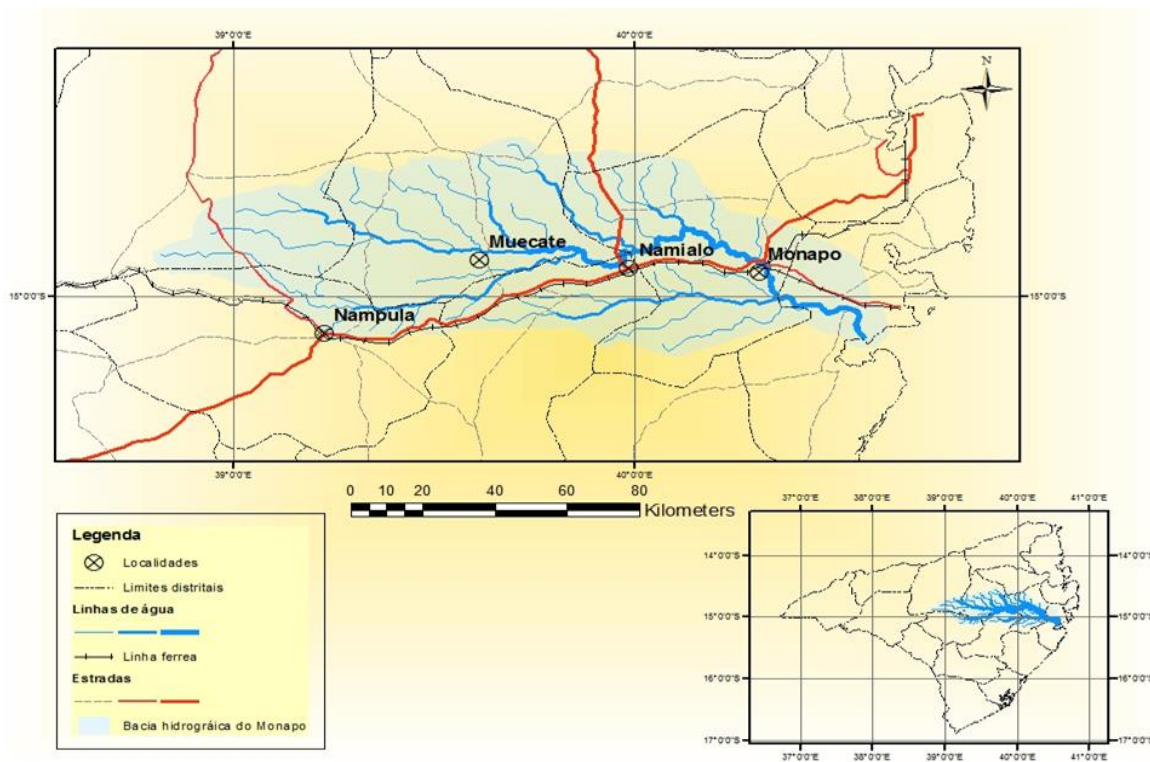


Figura 2.4 - Localização da Bacia hidrográfica do rio Monapo (mapa de base extraído de <http://www.maplibrary.org>).

Em terrenos do Gondwana Sul, o Arcaico é constituído por greenstone belts (rochas vulcano-clásticas básicas a ultrabásicas com intercalações de meta-cherte e formações de ferro bandadas na base e no topo por metassedimentos clásticos e químicos) encaixados em granodioritos e tonalitos mesoarcaicos. Este pacote é intruído por Complexos de TGG (Terrenos de Granitos-Greenstone), granitos, quartzo-monzonitos, ortognaisses intermédios a máficos e gabros (GTK, 2006).

No Proterozóico, o bloco litosférico Gondwana Sul possui rochas do Paleoproterozóico e do Mesoproterozóico. As formações supracrustais do Paleoproterozóico nos terrenos do Gondwana Sul consistem essencialmente de metassedimentos derivados de ambientes marinhos pericratónicos formadas há cerca de 2.0 Ga.

A margem Este do Cratão do Zimbábue está envolvida por estreitas zonas de metassedimentos Paleoproterozóicos compostos de sequências de gnaisses siliciclásticos e calcossilicatados, xistos pelíticos, mármore, conglomerados, quartzitos e ortoquartzitos, os quais foram afetados por dois episódios de metamorfismo de fácies anfibolítica (GTK, 2008).

A ocorrência de rochas intrusivas resume-se a doleritos que cortam o greenstone belt e os granitóides Arcaicos (GTK, 2008).

A sul do Cinturão do Lúrio, litologias metassedimentares siliciclásticas e calcossilicatadas representam as unidades supracrustais mesoproterozóicas do Gondwana Sul. Na mesma região o magmatismo mesoproterozóico do Gondwana Sul caracteriza-se por grandes plutões de gnaisses oclares e gnaisses graníticos calco-alcalinos a alcalinos enriquecidos em potássio. Charnóquitos leucocráticos e gnaisses granulíticos, e granulitos máficos a ultramáficos formam um Klippe em resultado dos eventos tectono-termais Pan-Africanos (GTK, 2008).

Sedimentos fanerozóicos cobrem toda planície costeira da província de Nampula. As formações fanerozóicas de cobertura podem ser divididas em dois grandes grupos: o Supergrupo do Karoo (SGK) e o Sistema do Rifte Este Africano (SREA), este mais recente que o anterior.

O SGK pode ser subdividido no Karoo Inferior e no Karoo Superior, ambos depositados num rifte abortado ou numa fase de desmembramento do Gondwana. O SGK é caracterizado pelo desenvolvimento de fossas tectónicas intracratónicas e de bacias profundas, e terminou com a instalação da Grande Província Ígnea do Karoo, de idade Jurássica Inferior (~190 Ma) e de outras manifestações ígneas na costa nordeste de Moçambique. As formações do SGK tiveram o seu início no Carbonífero Superior, terminando no Jurássico Inferior (Vasconcelos & Jamal, 2010).

A cobertura fanerozóica de Moçambique está representada por todas as litologias que se depositaram após o Ciclo Orogénico Pan-Africano. Estas litologias estão representadas por rochas sedimentares de origem marinha e continental, e por rochas intrusivas/extrusivas associadas, que

não foram afetadas por deformação penetrativa, mas que podem ter sofrido deformação tectónica frágil intensa (Vasconcelos & Jamal, 2010).

2.5 Solos

De acordo com a figura 2.6 a província de Nampula é caracterizada pela ocorrência de solos argilosos vermelhos (Rhodic Ferralsols ou Ferralíticos) das zonas planálticas, embora possam ainda aparecer associados solos ferralíticos de cores alaranjada, amarelada e cinzenta, dependendo da sua posição no terreno.

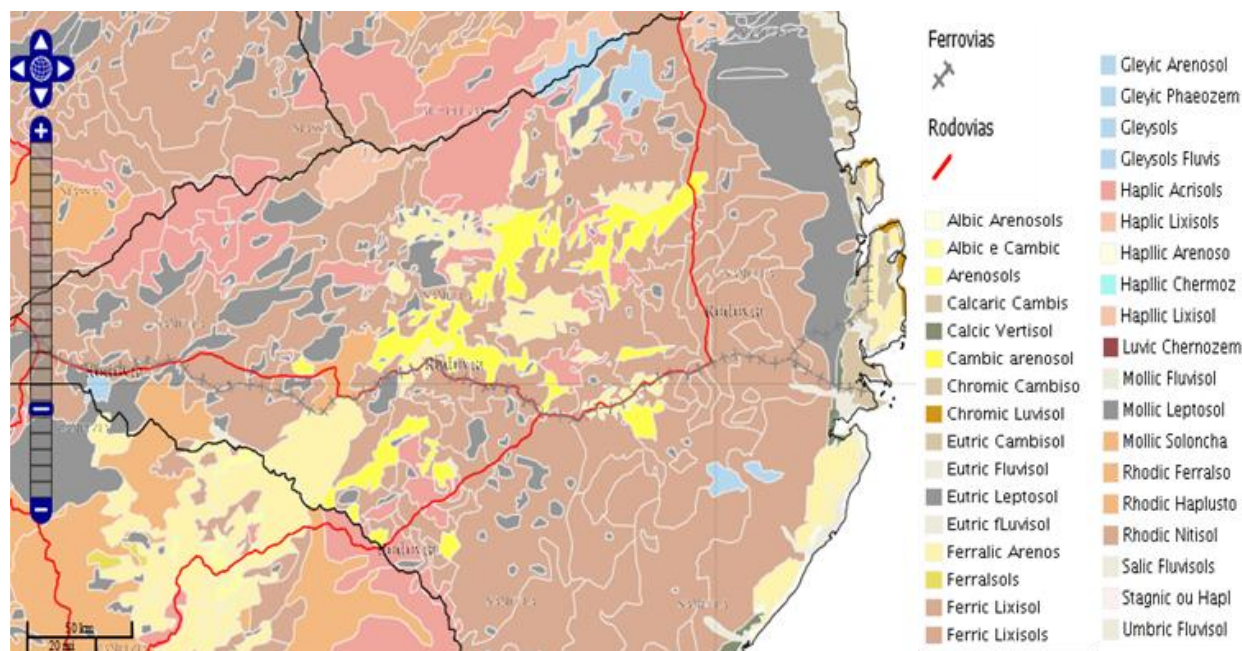


Figura 2.6 - Distribuição geográfica dos solos de Nampula
(fonte: <http://mapas.cnpm.embrapa.br/mocambique/mapa.html>).

Nesta província ocorrem também solos arenosos, lixiviados a moderadamente lixiviados, predominantemente amarelos a castanho-acinzentados, quer seja os da cobertura arenosa do interior (Ferralic Arenosols), quer seja os das dunas arenosas costeiras (Haplic Arenosols), e ainda os solos da faixa do grés costeiro, de textura arenosa a franco argilo-arenosa de cor predominantemente alaranjada (Ferralic Arenosols).

Ocorrem ainda solos aluvionares (Fluvisols), escuros, profundos, de textura pesada a média, moderadamente a mal drenados, sujeitos a inundação regular.

Nos “dambos” encontram-se solos hidromórficos de textura variada, variando de arenosos de cores cinzentas, arenosos com tendência argilosa a solos argilosos estratificados, de cor escura (Mollic, Gleyic e Dystric Gleysols, e Haplic e Luvic Phaeozems).

Os topos e encostas superiores dos interflúvios são dominados por complexos de solos vermelhos e alaranjados (Rhodic Ferralsols, Chromic Luvisols) a amarelos (Haplic Lixisol e Haplic Ferralsols).

A maioria dos solos apresenta texturas média a pesada, profundos, moderadamente a bem drenados. Nas encostas intermédias dos interflúvios os solos variam de cor, desde solos com cor pardo acastanhada a castanho-amarelada, moderadamente bem drenados e com textura argilosa.

2.6 Uso da terra e cobertura vegetal

Esta região revela um mosaico na paisagem estruturado a partir da integração dos diferentes usos da terra em pequenas áreas de cultivo (machambas) ativas ou em pousio e a cobertura vegetal arbustiva ou arbórea nativa (Figura 2.7).

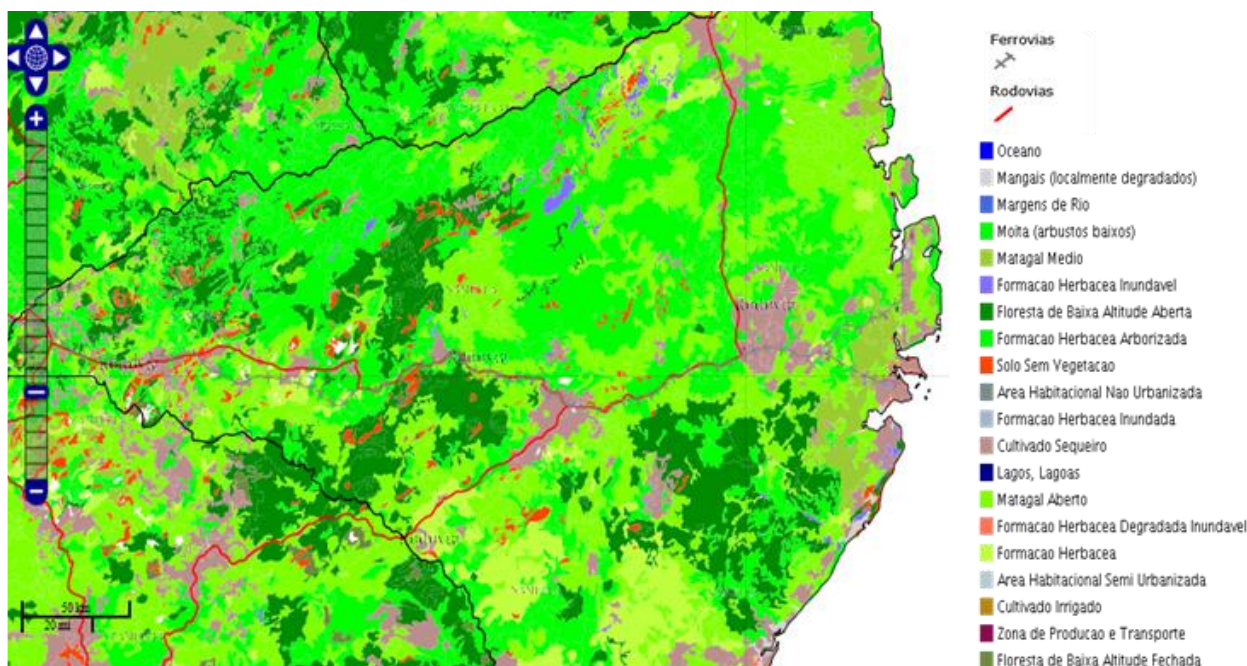


Figura 2.7 - Mapa de uso e cobertura do solo (fonte: <http://mapas.cnpm.embrapa.br/mocambique/mapa.html>).

De acordo com o mapa de uso da terra, as principais áreas de ocupação localizam-se ao longo das grandes estradas que cortam o “Corredor de Nacala”. Estas áreas são cultivadas por estruturas familiares de agricultores que detêm a posse de grande parte das manchas de terras férteis dispersas pela zona semiárida. Nestas áreas, "as machambas" ocupam praticamente todos os espaços ao longo da estrada nacional (EN 13) e da linha férrea que atravessa a província de Nampula, sendo a cobertura vegetal nativa bastante reduzida nesse eixo. As áreas mais distantes dos acessos viários apresentam elevada cobertura vegetal, composta predominantemente por florestas densas decíduas, florestas densas sempre verdes e florestas abertas decíduas. Outras áreas possuem uma vegetação dominante de herbáceas arborizadas e florestas abertas de baixa altitude.

Atualmente pratica-se uma agricultura de subsistência, em média 1,2 hectares por família, e dependente quase exclusivamente das águas pluviais. As culturas mais comuns são as de banana, milho, girassol, gergelim, batata-doce e abóbora. Nas áreas de maiores dimensões (até 10 hectares) predomina, para além do caju, também o algodão e o tabaco como culturas de rendimento. Nas

zonas com possibilidades de irrigação, pequenos agricultores cultivam principalmente hortaliças, tomate, pimentos, cebola, repolho e alface (Bolfe et al., 2011).

2.7 Atividades económicas

A província de Nampula tem vindo a registar índices elevados de crescimento da economia, resultantes da dinâmica dos sectores público e privado. Nampula tem um potencial muito diversificado, não dependendo apenas de um único recurso. Por um lado, existem os recursos minerais (fosfatos, areias pesadas, ouro e gemas) com grande impacto económico e social, mas também com enorme potencial na produção alimentar (agrícola, pecuária, pesqueira e águas minerais). Os indicadores económicos constam no balanço do plano económico e social-orçamento-2014 apresentado pelo Governo Provincial de Nampula (GPN, (2015).

Tabela 2.1 - Produção Global de 2014 (valores com base nos preços de 2013).

Sector	(10 ³ MT)
AGRICULTURA, PECUÁRIA E SILVICULTURA	25 510 000,0
Agricultura Sector Empresarial	2 550 000,0
Agricultura Sector Familiar	5 950 000,0
Pecuário Sector Empresarial	12 000 000,0
Pecuário Sector Familiar	2 500 000,0
Silvicultura Sector Empresarial	1 400 000,0
Silvicultura Sector Familiar	1 110 000,0
PESCA	4 500 000,0
ALOJAMENTO, RESTAURANTE E SIMILARES	4 070 000,0
INDÚSTRIA TRANSFORMADORA	5 350 000,0
EXTRACÇÃO DE RECURSOS MINERAIS	3 850 000,0
ENERGIA E LUBRIFICANTES	8 207 000,0
Transportes	7 890 000,0
Comunicações	317 000,0
TOTAL	54 706 000,0

Fonte: adaptado de GPN, 2015.

Segundo o GPN, ao longo do período 2013-2014, a produção global, valorizada a preços constantes de 2013, registou um crescimento na ordem de 11,7%, representando uma aceleração em 0,3% em relação à produção registada em 2013, cujo crescimento foi de 11,4%.

Em termos de crescimento, o sector da agricultura, pecuária e silvicultura registou o maior índice com 12,8%, seguido pelo sector das pescas com 12,3% e o sector da construção com 11,6%. É neste contexto que o crescimento global da economia da Província situou-se em 11,7% em relação ao exercício económico de 2013.

2.7.1 Agricultura

A economia da província de Nampula está essencialmente ligada à agricultura. O milho, mapira, mexoeira, arroz, mandioca, amendoim, feijão, batata-doce, batata reno e hortícolas são os principais produtos alimentares; as culturas de rendimento são: castanha de caju, algodão, girassol, gergelim e tabaco. Na campanha de 2013/2014 alcançou-se uma produção de 6945552 toneladas de produtos, correspondendo a um crescimento de 13,9% - Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Dados da produção agrícola relativos à campanha de 2013/2014 (adaptado de GPN, 2015).

Cultura	Produção (ton)
Culturas Alimentares	
Milho	423.229
Mapira	214.344
Mexoeira	24.540
Arroz	108.494
Feijões	134.252
Amendoim	158.932
Mandioca	5.583.185
Batata-doce	40.947
Batata reno	18.484
Hortícolas	116.807
Sub total	6.823.214
Culturas de Rendimento	
Algodão	46.869
Tabaco	6.629
Girassol	7.120
Gergelim	57.184
Soja	4.536
Sub total	122.338
Total	6.945.552

2.7.2 Produção pecuária

Os dados da produção pecuária tanto no sector familiar como no empresarial são apresentados na Tabela 2.3, onde se regista um crescimento satisfatório, com destaque para a produção do sector empresarial, nomeadamente a produção de carnes bovina, suína e de pequenos ruminantes.

Tabela 2.3 – Dados da produção pecuária relativos a 2014 (adaptado de GPN, 2015).

Produto	Produção	Produto	Produção
Sector familiar		Setor Empresarial	
Carne Bovina	847 (ton)	Carne Bovina	356 (ton)
Carne Suína	200 (ton)	Carne Suína	88 (ton)
Carne de Frango	1.724 (ton)	Carne de Frango	9.500 (ton)
Carne de P.	356 (ton)	Carne de P. Ruminantes	130 (ton)
Leite	8.593 (litros)	Leite	51.990 (litros)
Ovos de Consumo	69.540 (dúzias)	Ovos de Consumo	1.582.543 (dúzia)
		Pintos de 1 dia	4.824.236 (Bico)

2.7.3 Produção pesqueira

Em 2014 foi capturado pescado diverso na ordem de 56584 toneladas, das quais 56331,16 toneladas da pesca artesanal, 212,2 toneladas da pesca semi-industrial e 40,65 toneladas da aquacultura (Tabela 2.4). Esta produção representa um crescimento na ordem de 97,9% em relação ao ano de 2013 que foi de 28593,10 toneladas.

Tabela 2.4 – Dados da produção pesqueira relativos a 2014 (adaptado de GPN, 2015).

Produtos	Quantidade (ton)
Semi-industrial	
Camarão	18,4
Peixe	23,8
Lula	170,0
Sub-total	212,2
Pesca Artesanal	
Camarão	1.194,50
Peixe	53.445,50
Cefalópodes	576,3
Caranguejo	435,1
Lagosta	71,6
Tubarão	606,9
Outros	1,3
Sub-total	56.331,16
Aquacultura/Piscicultura	
Tilápia	40,65
Sub-total	40,65
TOTAL	56.584,01

2.7.4 Exploração mineira

A Província de Nampula possui diversos recursos minerais, que são explorados de forma artesanal e industrial. Atualmente, a exploração artesanal é a mais praticada, incentivada pelo governo provincial à luz de uma autorização do Ministério dos Recursos Minerais, supostamente para aumentar a renda das populações residentes nas zonas em que ocorrem diversos minerais, sendo a exploração do ouro a mais praticada.

Todavia, as comunidades que se dedicam à exploração mineral, cujo número real as autoridades governamentais desconhecem, desenvolvem-na desprovidas de qualquer técnica moderna de exploração mineral, exercida na base de processos muito rudimentares. Devido a este facto, a atividade mineira do sector familiar na província de Nampula, constitui uma das principais causas do desperdício dos recursos hídricos, e de outros considerados não renováveis, acarretando ainda impactos ambientais consideráveis.

A tabela 2.5 apresenta dados provinciais da exploração mineira (artesanal e industriais) do ano 2014. Nesse período a produção artesanal e de pequena escala registou um crescimento assinalável de 98,8%, influenciado sobretudo pelos crescimentos registados na extração de granito, gnaíse, areias de construção e refugo de turmalinas.

O crescimento assinalável registado na produção mineira deve-se sobretudo à exploração massiva dos materiais de construção, nomeadamente o calcário, a areia e o granito, devido aos projetos de grande dimensão em curso na Província, com destaque para a Zona Económica Especial de Nacala, com a construção do Aeroporto Internacional de Nacala-Porto, a construção da Terminal de Carvão de Nacala-a-Velha, a reabilitação do Porto de Nacala, a ampliação da Barragem de Nacala, para além da reabilitação e construção de estradas, pontes e outros edifícios.

Tabela 2.5 – Dados da produção mineira relativa a 2014 (adaptado de GPN, 2015).

Produto	Quantidade
Turmalinas	18 kg
Refugio de turmalinas	4.946 kg
Águas marinhas	11 kg
Refugio de águas marinhas	583 kg
Quartzo diverso	318.793 kg
Ouro	1 kg
Calcário	40.116.000 kg
Areia de construção	122.440.000 kg
Granito	207.603.650 kg
Granito gnaisse	430.257.030 kg
Berilo industrial	1.177 kg
Água mineral	5.239.556 L
Produção de areias pesadas	
Ilmenite	925,901 ton
Zircão	60,197 ton
Rutilo	15,448 ton

2.8 Saúde

No que concerne ao estado de saúde da população, a malária e as doenças diarreicas são a principal causa de procura dos Serviços de Saúde, tendo aumentado o número de casos registados de malária, mordedura animal e profilaxia flácido aguda em 36,4%, 141,6% e 19%, respetivamente (GPN, 2015). Por outro lado, verificou-se, em comparação com os dados de 2013, a redução do número de casos de diarreias, disenterias e de cólera, em 11,5%, 14,3% e 7,5%, respetivamente (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 – Dados relativos a doenças de notificação obrigatória no ano 2014 (adaptado de GPN, 2015).

Doenças	Casos	Óbitos
Malaria	1.067.744	431
Diarreia	104.423	79
Disenteria	18.458	0
Cólera	454	1
Meningite	119	16
Sarampo	163	0
Mordedura canina	1.831	0
PFA	65	0
Tétanos recém-nascidos	65	0

A elevada incidência desta tipologia de doenças infectocontagiosas faz com que a atenção para doenças ou manifestações toxicológicas derivadas da ingestão de água ou alimentos com teores elevados em elementos potencialmente tóxicos seja fortemente menosprezada. Para além disso, o carácter acumulativo de muitos metais faz com que a manifestação de algumas destas doenças, principalmente em indivíduos adultos, só ocorra em indivíduos idade mais avançada, o que num país onde a esperança média de vida é de cerca de 55 anos pode ser altamente impercetível.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostragem

A amostragem é o conjunto de operações destinadas à obtenção de uma amostra representativa de uma dada população ou universo. Uma amostra é considerada representativa quando as propriedades do universo (teor dos diversos elementos, constituintes mineralógicos, massa específica, distribuição granulométrica, etc.), estimadas com base nessa amostra, respeitam uma variabilidade estatisticamente aceitável (Sampaio et al., 2007).

A recolha de amostras foi realizada no mês de setembro de 2015 e incidiu em 8 pontos previamente identificados, de acordo com levantamentos feitos da área de estudo, designadamente da análise das acessibilidades (mapas das vias de acesso) e da identificação das linhas de água com contributos mais expressivos na bacia hidrográfica (Figura 3.1).

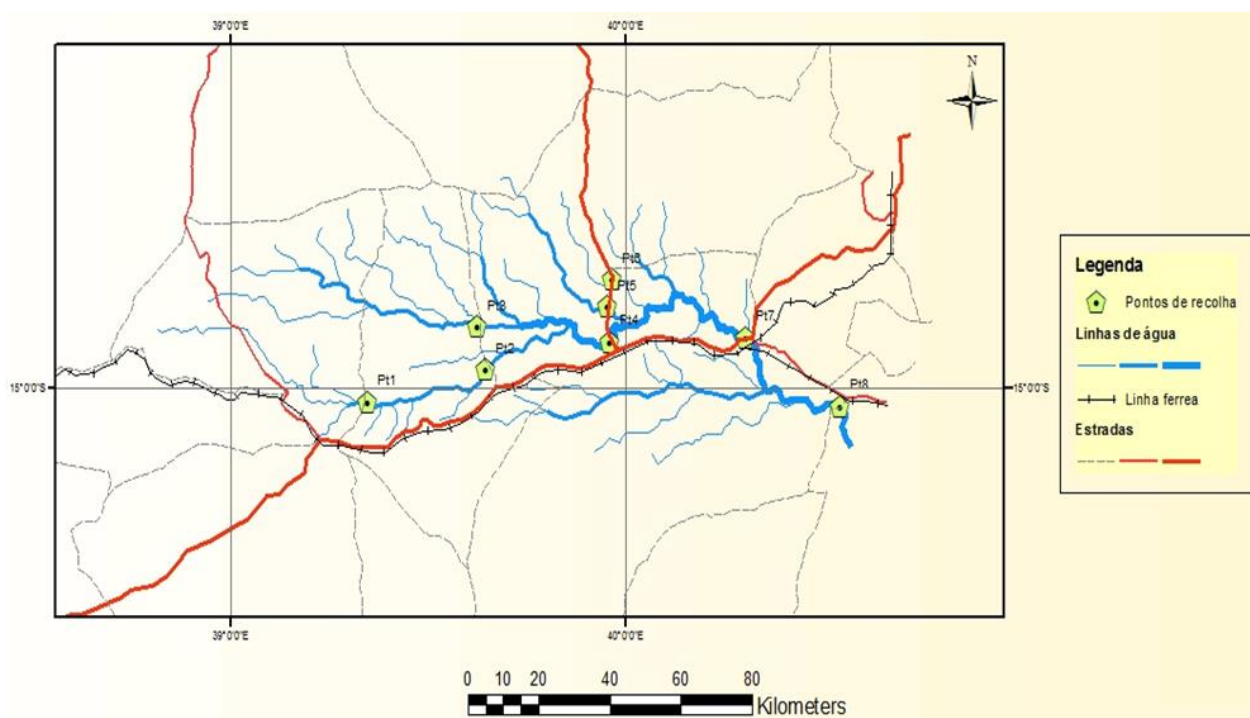


Figura 3.1 – Localização dos pontos de amostragem.

Em cada ponto foram recolhidas amostras de sedimentos de corrente e de águas superficiais.

As amostras de sedimentos foram recolhidas ao longo do rio com ajuda de uma pá plástica e de um recipiente de plástico com o fundo perfurado com aberturas de 2 mm, tendo-se rejeitado a fração superior a 2 mm. As amostras foram guardadas em sacos plásticos previamente etiquetados de acordo com os pontos de recolha. As coordenadas dos locais de amostragem foram registadas com o auxílio de GPS (Tabela 3.1).

Durante a recolha das amostras e no mês anterior a esta data não houve registo de pluviosidade e as temperaturas médias rondavam os 27 °C.

Tabela 3.1. Informação relativa à localização e codificação das amostras de sedimentos e águas do rio Monapo e seus afluentes.

Local de amostragem	Distância (km)	Rio	M	P	Água	Sedimentos
Nampula	0	Monapo	531073mE	8337936mN	AAM - 1	ASM - 1
Nacavala	35	Monapo	569881mE	8346296mN	AAM - 2	ASM - 2
Muecate	50	Muecate	568293mE	8356357mN	AAM - 3	ASM - 3
Namialo	70	Monapo	604192mE	8352444mN	AAM - 4	ASM - 4
Meconta	85	Mugica	602931mE	8360580mN	AAM - 5	ASM - 5
Meconta	95	Musseteti	603140mE	8361019mN	AAM - 6	ASM - 6
Monapo	110	Monapo	640596mE	8352894mN	AAM - 7	ASM - 7
Naguema	140	Monapo	663321mE	8337699mN	AAM - 8	ASM - 8

As amostras de água foram recolhidas no centro da linha de água, onde foi feita a submersão dos frascos a cerca de 20 cm e de seguida a água foi recolhida em contracorrente. Depois de recolhidas, as amostras de água foram guardadas numa arca térmica refrigerada, onde permaneceram até serem levadas para o laboratório para realização das análises.

3.1.1 Caracterização dos pontos de amostragem

Seguidamente apresenta-se uma breve descrição dos locais de amostragem, onde alguns dos aspetos desses locais podem ser visualizados na figura 3.2.



Figura 3.2 - Vistas panorâmicas dos pontos de amostragem: (a) - ponto 2, (b) – ponto 4, (c) – ponto 7, (d) - ponto 8. (ver Figura 3.1 para localização)

Ponto 1: localizado no rio Monapo, na cidade de Nampula, este ponto de amostragem situa-se a jusante da barragem de Nampula; nas proximidades deste ponto existem pequenos campos agrícolas com culturas hortícolas; a água do rio é usada para irrigação das hortas e para consumo humano pela população residente na região; na área ocorrem maioritariamente gnaisses granodiorítico-tonalítico com hornblenda;

Ponto 2: este ponto também está localizado no rio Monapo (em Nacavala, no Distrito de Meconta); nos arredores deste local, a população usa a água para consumo doméstico e para rega; nas hortas locais produz-se milho, amendoim e diferentes hortícolas; geologicamente a área caracteriza-se pela presença de um granito leucocrático equigranular de grão médio, gnaisses biotíticos bandados e migmatitos (Figura 3.2a);

Ponto 3: este ponto está localizado no rio Muecate (no Distrito de Muecate); nas proximidades deste local existem pequenos campos agrícolas com culturas de hortícolas, milho e feijão; a água é usada para irrigação dos campos agrícolas e para consumo humano pela população residente na região; neste ponto foi observada a extração de areias para uso como agregado na construção civil; na área ocorrem gnaisses ocelados e chamoquitos; neste ponto observou-se a acumulação de espumas na água devido ao uso de detergentes durante o processo de lavagem de roupa que é realizado no rio;

Ponto 4: localizado no rio Monapo, em Namialo (Distrito de Meconta) este local situa-se próximo de uma zona industrial e de uma plantação industrial de bananas; nas proximidades deste ponto existem pequenos campos agrícolas com culturas de hortícolas, milho, amendoim e feijão; a água é usada para irrigação dos campos agrícolas e para consumo humano pela população residente na região; neste ponto também se faz a extração de areias para uso como agregado na construção civil; na área ocorrem essencialmente gnaisses quartzo-feldspáticos bandados, granulitos, mármore, leucognaisses, gnaisses com silimatite e granada (Figura 3.2b); neste ponto observa-se o lançamento de esgotos (dejetos fecais) a céu aberto assim como a presença de espuma resultante do processo de lavagem de roupa no próprio rio;

Ponto 5: ponto localizado no rio Mugica (Distrito de Meconta); nas redondezas deste ponto, a população usa a água para consumo doméstico e também na rega das plantações de milho, amendoim e diferentes hortícolas. A geologia da região é semelhante à do ponto 4.

Ponto 6: ponto localizado no rio Mussimeti (Distrito de Meconta); à semelhança do ponto 5, neste local a população usa a água para consumo doméstico e também na rega das plantações de milho, amendoim e hortícolas; à semelhança dos pontos 4 e 5 nesta zona ocorrem gnaisses quartzo-feldspáticos bandados, granulitos, mármore, leucognaisses, gnaisses com silimatite e granada.

Ponto 7: localizado no rio Monapo (Distrito de Monapo), este ponto situa-se próximo à antiga fábrica do Grupo Industrial do Monapo; a jusante deste ponto localiza-se a grande plantação de bananeiras da Matanuska; nas proximidades deste ponto existem pequenos campos agrícolas com culturas de hortícolas, milho, amendoim e feijão; assim como nos pontos anteriores, a água é usada para irrigação dos campos agrícolas e para consumo humano; neste ponto observou-se a lavagem de viaturas nas margens do rio, lançamento dos esgotos (dejetos fecais) a céu aberto e lavagem de roupa; a geologia da área é caracterizada pela ocorrência de milonitos, ultramilonitos a blastomilonitos (Figura 3.2c);

Ponto 8: ponto localizado no rio Monapo (em Naguema no distrito de Mossuril); nas proximidades deste ponto, a população usa a água para consumo doméstico e também na rega das plantações de milho, amendoim e hortícolas; na zona correm depósitos de aluvião, areia, solo arenoso, silte, cascalho, argila lacustre de ambiente salobro, cascalheiras, sedimentos estuarinos e de entre-marés, argilas de origens várias; trata-se ainda de uma zona aplanada de salinas e de mangal (Figura 3.2).

3.2 Preparação de amostras

3.2.1 Amostras de sedimentos

A figura 3.3 apresenta o fluxograma relativo à preparação física das amostras de sedimentos para as respetivas análises.

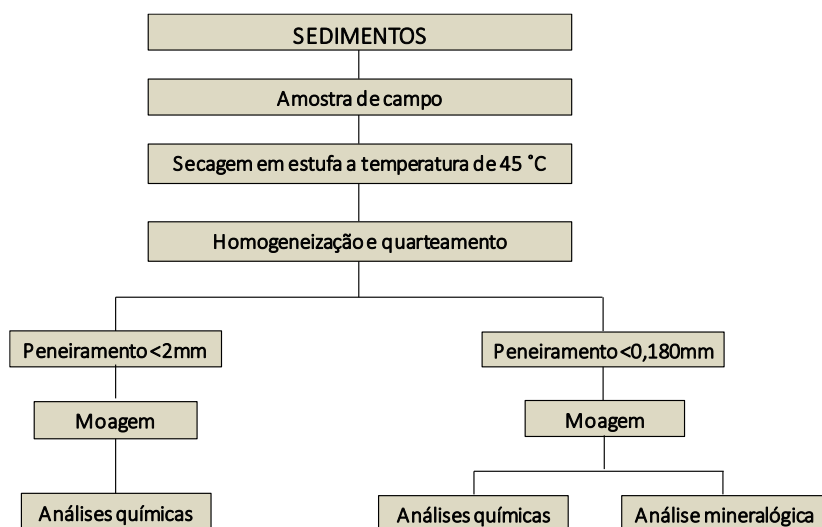


Figura 3.3 - Fluxograma da preparação e análise das amostras de sedimentos de corrente.

Depois de recolhidas, as amostras foram secas numa estufa à temperatura de 45 °C durante 48 horas (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Preparação de amostras: (a) estufa usada para secar as amostras; (b) amostras já secas.

Após a secagem, foram retirados os restos de resíduos orgânicos de maiores dimensões e foi feita a homogeneização com o objetivo de obter uma distribuição (mistura) mais uniforme dos constituintes da amostra. Seguidamente procedeu-se ao quarteamento da amostra para obtenção de um volume menor de amostra representativa para a análise. Essa operação foi realizada de forma manual, colocando-se a amostra em cima de um papel limpo de modo que a totalidade da amostra se dispusesse sob a forma de uma pilha cónica. Depois de feito o cone, o vértice foi achatado para facilitar a divisão, tendo-se dividido a amostra em quatro porções, segundo dois planos verticais que se cruzam no eixo geométrico do cone. Como resultado da operação foram retiradas duas frações, em diagonal de cada amostra, sendo, as do 1º quadrante para o peneiramento a 0,180 mm e as do 3º quadrante para peneiramento a <2 mm, enquanto as restantes porções (2º e 4º quadrantes) foram retidas para arquivo.

Em termos técnicos, o peneiramento é como um processo de classificação de partículas por tamanho. Embora fatores como forma e densidade das partículas sejam importantes nesse processo, o tamanho da partícula ainda é o fator predominante na classificação (Valire & Wennen, 1980; *in* Sampaio et al., 2007). As sub-amostras anteriormente separadas foram peneiradas a seco com recurso a um peneiro de malha 2 mm e 0,180 mm, respetivamente, durante 10 minutos (Figura 3.5).



Figura 3.5 – Peneiramento das amostras: (a) Peneiros da séries ASTM; (b) Agitador e coluna de peneiração .

As porções de amostra das frações <2 mm e $<0,180$ mm foram submetida a uma moagem num moinho de ágata para obtenção de um concentrado homogéneo e fino (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Moinho de ágata utilizado na moagem das amostras.

Das duas frações granulométricas (<2 mm e $<0,180$ mm) foram separadas quantidades menores (cerca de 3 gramas de cada amostra) para sacos de plástico devidamente etiquetados e selados para análise química. De cada um dos conjuntos de amostras (<2 mm e $<0,180$ mm) foi enviado um duplicado para controlo dos resultados químicos. Da fração $<0,180$ mm foi ainda separada uma porção de cada amostra moída (entre 5 a 10 g) para análise mineralógica.

3.2.2 Amostras de águas

As amostras de águas superficiais recolhidas nos diferentes pontos de amostragem foram subdivididas em duas proporções iguais: (a) uma parte destinada a determinação dos valores de pH e da condutividade elétrica; (b) outra para análise química (Figura 3.7).

As porções das amostras de água destinadas à análise química foram filtradas em utilizando unidades de filtração Sterifill da Millipore com recurso a filtros de nitrocelulose Millipore de porosidade igual a 0,45 μm . De cada amostra filtrada foi separa uma porção (50 ml) à qual foi adicionado 1 ml de HNO_3 (65%) para análise catiónica, enquanto uma igual porção foi separa num outro frasco de polietileno, sem qualquer acidificação, destinada à análise de aniões (Figura 3.7).

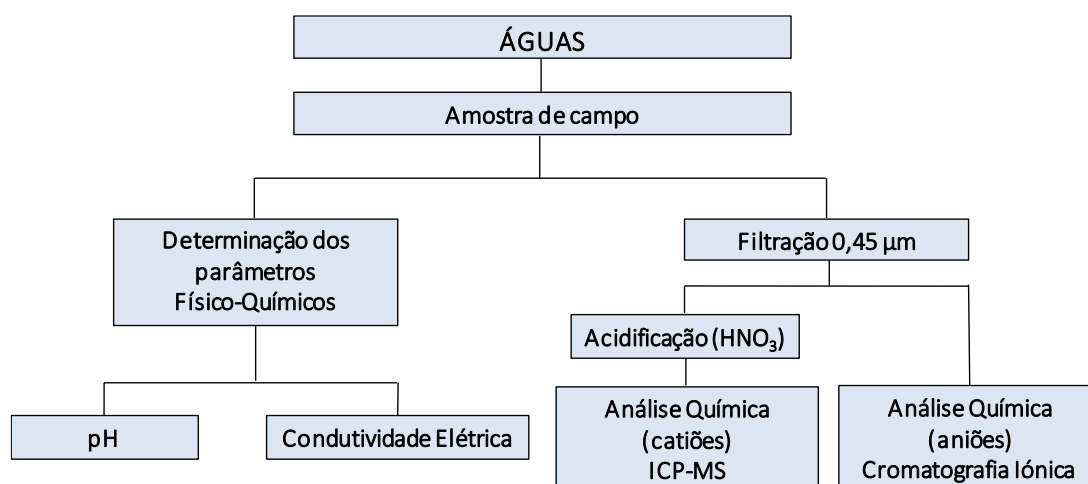


Figura 3.7 - Fluxograma da preparação e análise das amostras de águas superficiais.

3.3 Métodos de análise

3.3.1 Determinação dos parâmetros físico-químicos

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de iões dissolvidos na água. Quanto maior for a quantidade de iões dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água (Sanders, 1998). Os iões responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, sódio (Na^+), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}) e cloretos (Cl^-).

A determinação da condutividade elétrica foi realizada através de um medidor de condutividade da marca HANNA, referência HI9033 (Figura 3.8a). O elétrodo foi previamente calibrado com uma solução padrão de condutividade $1413 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (25°C).



Figura 3.8 - (a) Condutivímetro e (b) medidor de pH utilizados na determinação da condutividade elétrica e pH nas águas.

O termo pH é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de iões de hidrogénio nessa solução. A escala de pH varia de 0 a 14 exprimindo os vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade (Sanders, 1998). As águas superficiais possuem normalmente um valor de pH que varia entre 4 e 9. Às vezes estas águas são ligeiramente alcalinas refletindo a presença de carbonatos e bicarbonatos. Naturalmente, o pH reflete o tipo de substrato onde ocorre a percolação dessa mesma água.

A determinação do pH foi realizada através do método eletrométrico, utilizando-se para isso medidor de pH digital da marca HANNA, referência 9126 (Figura 3.8b). Antes de realizar as medições o equipamento foi calibrado com soluções padrão de pH 4,01 e 7,01 (25 °C). Concomitantemente com a medição dos valores de pH foi também determinada a temperatura das amostras.

3.3.2 Determinação das concentrações de elementos maiores e vestigiais

A análise química das amostras de sedimentos e águas foi realizada por espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (ICP-MS).

A espectrometria de massa atômica é uma técnica analítica que utiliza o movimento de iões em campos elétricos e magnéticos para classificá-los de acordo com sua relação massa-carga. É uma técnica analítica por meio da qual as substâncias químicas se identificam, separando os iões gasosos em campos elétricos e magnéticos. Possui sensibilidade e pode-se utilizar tanto em análise qualitativa para identificação do espectro de massas, como em análise quantitativa por gerar sinais analíticos proporcionais à concentração das espécies presentes na amostra.

Na espectrometria de massa, é necessário que a amostra seja convertida em iões em fase gasosa em vez de átomos em fase gasosa. Nas fontes energéticas de atomização, tais como os plasmas,

uma fração substancial dos átomos produzidos é ionizada, normalmente como um ião positivo monovalente. Os iões de massas atômicas diferentes são separados por um dispositivo chamado analisador de massas para produzir um espectro de massas. O plasma é um dispositivo de atomização contínuo correspondente a uma mistura gasosa condutiva contendo uma concentração significativa de catiões e eletrões (Skoog et al., 2006).

O plasma formado por acoplamento indutivo (Inductively Coupled Plasma – ICP) é uma das fontes de ionização mais utilizadas em acoplamentos com espectrómetros de massas. A técnica foi comercialmente introduzida em 1983 e tem vindo a ganhar aceitação geral em muitos tipos de laboratórios. Laboratórios de análises geoquímicas foram os primeiros a adotar a tecnologia ICP-MS por causa de sua elevada capacidade de deteção, especialmente para os elementos de terras raras.

Portanto, um ICP-MS combina um ICP de alta temperatura de origem com um espectrómetro de massa.

O ICP-MS inclui um sistema de introdução de amostra que consiste em uma câmara do spray com arrefecimento por sistema Peltier, um nebulizador microconcêntrico, um analisador de massas do tipo quadrupolo. O equipamento tem também um sistema de correção de interferência poliatômicas, que consiste em um octopolo que atua como célula de colisão. Dispõe também de um acessório para a introdução de amostras com matrizes complexas que permite a análise de amostras com elevado teor de sólidos, sem diluir a amostra.

No caso dos sedimentos, as análises foram elaboradas no laboratório acreditado ACME Labs, após uma digestão ácida ($\text{HF-HClO}_4\text{-HNO}_3$) de 0.25g da amostra moída. Esta mistura foi aquecida até à evaporação total da fração líquida. Ao resíduo adicionou-se HCl e aqueceu-se a solução numa placa de aquecimento com agitação para completar a digestão total da fração sólida. Aquando do arrefecimento a solução obtida foi transferida para tubos de análise, completando-se o volume com HCl até se perfazer 10ml de solução, procedendo-se de seguida à respetiva análise.

As soluções obtidas foram submetidas a uma análise multielementar (42 elementos) – Ag, Al, As, Be, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, K, ΣETR , Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn, Zr (Limites de deteção: P, Ti - 0.001%; Na – 0,002%; 0,02% - Al, Ca, Fe, K, Mg; 0,04% - S; Cd, Cu, Ga, Pb, Sb – 0,02 mg kg⁻¹; Nb, Sb - 0,04 mg kg⁻¹; Mo, Te, Tl – 0,05 mg kg⁻¹; Cs, La, Li, Ni, Rb, Sc, Sn, Ta, Th, U, W, Y – 0,1 mg kg⁻¹; As, Co, Zn, Zr – 0,2 mg kg⁻¹; Sc – 0,3 mg kg⁻¹; Ba, Be, Cr, Sr, V – 1 mg kg⁻¹; Mn – 2 mg kg⁻¹; Ag – 20 mg kg⁻¹. No Anexo 2, encontram-se os valores da análise química das amostras de sedimentos para esses elementos.

O rigor e a precisão analítica foram determinados utilizando materiais de referência (STD OREAS45E e STD OREAS25A-4A) e amostras duplicadas em cada conjunto analisado. Os

resultados obtidos inseriram-se no intervalo de confiança de 95% dos valores fornecidos pelo material certificado. O desvio padrão relativo foi de 5 a 10%.

A análise química das amostras de águas foi realizada no laboratório de geoquímica do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, utilizando um equipamento da marca Agilent Technologies 7700Series ICP-MS (Figura 3.9). Nestas amostras analisou-se um total de 24 elementos: Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Ti, Tl, U, V, Zn (limites de deteção: U < 0,001 $\mu\text{g L}^{-1}$; Ag, Co < 0,002 $\mu\text{g L}^{-1}$; Cd, Mg, V < 0,004 $\mu\text{g L}^{-1}$; Sb < 0,005 $\mu\text{g L}^{-1}$; Tl < 0,006 $\mu\text{g L}^{-1}$; Cr < 0,025 $\mu\text{g L}^{-1}$; Be < 0,03 $\mu\text{g L}^{-1}$; Pb < 0,032 $\mu\text{g L}^{-1}$; K < 0,047 $\mu\text{g L}^{-1}$; Mn < 0,063 $\mu\text{g L}^{-1}$; As < 0,094 $\mu\text{g L}^{-1}$; Ca < 0,122 $\mu\text{g L}^{-1}$; Th < 0,126 $\mu\text{g L}^{-1}$; Ni < 0,178 $\mu\text{g L}^{-1}$; Cu < 0,224 $\mu\text{g L}^{-1}$; Se < 0,389 $\mu\text{g L}^{-1}$; Ba < 0,970 $\mu\text{g L}^{-1}$; Fe < 1,115 $\mu\text{g L}^{-1}$; Al < 1,237 $\mu\text{g L}^{-1}$; Zn < 1,921 $\mu\text{g L}^{-1}$; Na < 0,019 mg L⁻¹; K < 0,047 mg L⁻¹. No Anexo 3, encontram-se os valores da análise química das amostras de águas para esses elementos.



Figura 3.9 - ICP-MS da marca Agilent, modelo 7700, utilizado na análise química dos elementos maiores e vestigiais das águas.

Para o controlo da qualidade das análises foram também analisados duplicados de amostras, escolhidas de forma aleatória (Ramsey et al., 1987). Dependendo dos níveis de concentração, verificou-se que os erros são inferiores a 6% para os elementos vestigiais, e entre 2% a 7% para os elementos maiores.

3.3.3 Determinação das concentrações de aniões nas águas

A análise dos aniões principais (Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}) foi realizada no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro por cromatografia iónica.

A cromatografia iónica é uma variante da cromatografia líquida que utiliza resinas de troca iónica para separar iões atómicos ou moleculares com base na sua interação com uma resina. A separação

dos analitos é conseguida de forma isocrática ou por aplicação de gradiente. Esta técnica pode ser utilizada para a análise de iões inorgânicos (aniões tais como cloreto, fluoreto, nitrito, nitrato e sulfato; cationes como lítio, cálcio, amónia, magnésio, potássio e sódio) em várias matrizes líquidas. Permite ainda analisar um conjunto diversificado de compostos orgânicos. Além das aplicações enunciadas é possível desenvolver métodos específicos para outros analitos desde que estejam dentro da gama de operação do equipamento (Weiss, 2004).

Uma das grandes vantagens desta técnica prende-se com a simplificação da determinação de espécies iónicas em simultâneo. No caso das análises dos aniões das águas neste trabalho, estas seguiram o método descrito por Patinha (1996), utilizando um cromatógrafo Dionex 2000 SPI (Figura 3.10).



Figura 3.10 - Cromatógrafo da marca DIONEX, modelo 2000 SPI utilizado na análise aniónica das águas.

Os limites de deteção para os aniões analisados foram os seguintes: $\text{NO}_3 < 0,216 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Cl} < 0,470 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{SO}_4 < 0,573 \text{ mg L}^{-1}$.

Para o controlo da qualidade das análises foram também analisadas amostras duplicadas, escolhidas de forma aleatória (Ramsey et al., 1987). Dependendo dos níveis de concentração, verificou-se que os erros variaram entre 2% a 7% para os aniões analisados.

3.3.4 Análise mineralógica

No presente estudo, foi feita uma análise prévia das amostras de sedimentos (fração $< 2 \text{ mm}$) à lupa binocular, seguida da análise mineralógica dos sedimentos (fração $< 0,180 \text{ mm}$) por difractometria de raios-X (DRX), efetuada no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Os raios-X são ondas eletromagnéticas que ocupam a região entre a radiação gama e os raios ultravioleta no espectro eletromagnético, caracterizando-se por possuir comprimento de onda da ordem de angstroms ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) e frequência acima de 10^{16} Hz .

Quando um feixe de raios-X monocromáticos incide sobre um material cristalino ocorre o fenómeno da difração (Figura 3.11). Os eletrões deste átomo ficarão excitados e vibrarão com a mesma frequência do feixe incidente. Ao incidir um feixe de raios-X sobre um cristal, cada átomo será uma fonte de emissão esférica de radiação. Nestas condições poderá haver interferências construtivas ou destrutivas entre as ondas eletromagnéticas se estiverem em fase entre si ou desfasadas, respetivamente. O comprimento de onda da radiação incidente deve ser da mesma ordem de grandeza do tamanho da partícula a ser analisada (Cullity & Stock, 2001).

Em determinadas condições, os eletrões de cada átomo difundem a radiação de modo coerente, o que dá origem a que, em certas direções, as ondas difundidas estejam em fase simultaneamente. Um feixe monocromático de raios-X incidindo sobre os planos reticulares dos cristais sofre difração sempre que se verifique a equação de Bragg (Terroso, 2005).

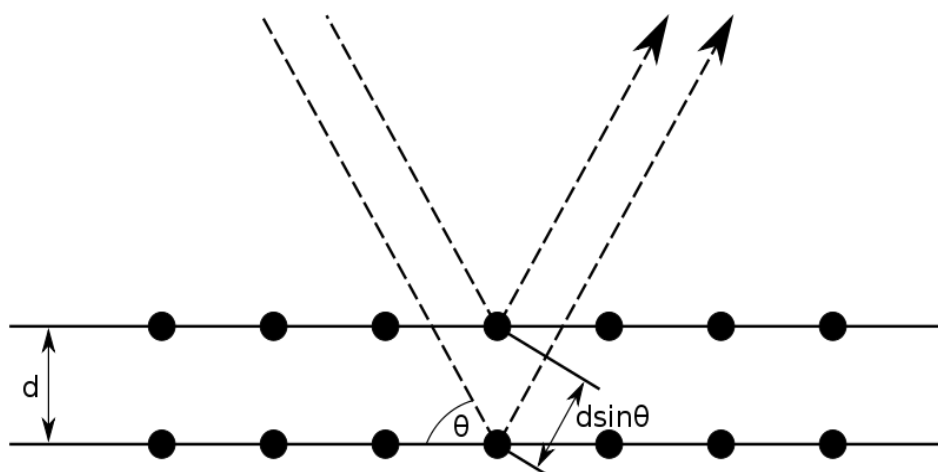


Figura 3.11 - Esquema da difração de Bragg (<https://en.wikipedia.org/wiki/File:BraggPlaneDiffraction.svg>).

A lei de Bragg estabelece as condições necessárias para que as interferências construtivas aconteçam e a sua expressão analítica é dada por: $n\lambda = 2d\sin\theta$ em que λ é o comprimento de onda da radiação X (monocromática), n é um número inteiro (1, 2, 3...) correspondente à ordem de difração dos planos do cristal em questão e θ corresponde ao ângulo de difração entre o feixe da radiação e o plano reticular do sólido cristalino (Formoso, 1989).

O equipamento utilizado neste trabalho foi um difratómetro Philips X'Pert MPD (Figura 3.12), equipado com um feixe automático de divergência, com radiação (20 mA, 40kv) de incidência do tipo $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,5405 \text{ \AA}$) e um filtro de níquel. Os difractogramas para cada uma das amostras foram obtidos para um intervalo de $4 - 65^\circ$ (2θ), com um tempo de contagem de 0,5s por $0,02^\circ$ (2θ).



Figura 3.12 – Difratómetro de raios-X Philips X’Pert MPD, utilizado na análise mineralógica dos sedimentos.

3.4 Análise dos Dados

3.4.1 Tratamento estatístico dos dados

Os parâmetros estatísticos univariados e bivariados dos dados relativos às análises químicas das amostras de sedimentos de corrente e das águas superficiais foram calculados utilizando o programa Statistica 9.0[®] e o Microsoft Excel. A elaboração dos diagramas de extremos e quartis foi realizada utilizando o programa Grapher 7[®]. Os diagramas de Piper e Stiff foram elaborados com recurso ao software gratuito Qualigraf, versão 1.1. desenvolvido pela FUNCEME.

Para a análise multivariada dos dados e tendo em consideração o número de amostras em estudo utilizou-se a classificação hierárquica ascendente. Este método serve essencialmente para agrupar os dados de acordo com o grau de “proximidade” ou “parentesco” entre os objetos, nos diferentes níveis. Dentre os métodos de classificação hierárquica utilizou-se o método da árvore hierárquica (“Tree Clustering”). Este método utiliza as distâncias entre os objetos para a definição dos grupos.

O método de Ward parte de uma análise de variância para avaliar as distâncias entre grupos (“cluster”). Este método tenta minimizar a soma dos quadrados de quaisquer dois grupos hipotéticos que se poderão formar em cada passo. Desta forma, o método supracitado ajuda a minimizar a perda de informação de cada etapa no processo de agrupamento.

Para o estudo multivariado dos dados químicos relativos às amostras de sedimentos de corrente e das águas superficiais foi realizado utilizando o programa Statistica 9.0®.

3.4.2 Definição dos valores de referência

As concentrações dos elementos maiores e vestigiais nas amostras de sedimento de corrente e das águas de superfície foram comparados com valores de referência propostos por Reimann et Caritat (1998). Os valores propostos por estes autores referem-se a valores médios mundiais para sedimentos (na fração estudada) e para amostras de águas de superfície.

A análise da qualidade dos sedimentos de corrente foi também efetuada tendo como linhas orientadoras os valores propostos no CSST - Consensus Based Sediment Quality Guidelines (2003) desenvolvido pelo Contaminated Sediment Standing Team. Segundo os autores, os valores atribuídos ao nível 1, nível 2, nível 3 e nível 4, fornecem uma base precisa para averiguar a presença de elementos químicos em concentrações evidenciando riscos de toxicidade (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Valores guia recomendados (TEC, MEC e PEC) para o As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb e Zn e níveis associados para a avaliação da qualidade do sedimento (adaptado de CBSS - Consensus Based Sediment Quality Guidelines (2003)).

Metal	Valores guia (mg kg ⁻¹)							Ref ^a
	Nível 1 ≤ TEC	TEC	Nível 2 TEC-	MEC	Nível 3 MEC-	PEC	Nível 4 > PEC	
Ag	←	2	↔	13.5	↔	25	→	(a)
As	←	9,8	↔	21,4	↔	33	→	(b)
Cd	←	0,99	↔	3.0	↔	5,0	→	(b)
Cr	←	43	↔	76.5	↔	110	→	(b)
Cu	←	32	↔	91	↔	150	→	(b)
Fe	←	20000	↔	30000	↔	40000	→	(c)
Mn	←	460	↔	780	↔	1100	→	(c)
Ni	←	23	↔	36	↔	49	→	(b)
Pb	←	36	↔	83	↔	130	→	(b)
Sb	←	2	↔	13,5	↔	25	→	(d)
Zn	←	120	↔	290	↔	460	→	(b)

(a) - BC (1999); (b) - CBSQG (2000); (c) - Ontário (1993); (d) - NOAA (1991)

Neste trabalho utilizou-se um teor abaixo do qual não são observáveis efeitos de toxicidade (TEC - Threshold Effect Concentration) e um teor correspondente a um provável efeito de toxicidade (PEC - Probable Effects Concentration). Há um incremento no grau de toxicidade, do nível TEC (nível 1) para o nível PEC (nível 4), apresentando um nível intermédio de toxicidade (MEC). Os teores do TEC e do PEC representados na tabela 4.1 foram determinados recorrendo à pesquisa bibliográfica da especialidade. As concentrações dos elementos variam entre inferior a TEC e superior a PEC o que corresponde à ausência ou à presença de toxicidade do elemento químico no sedimento, respetivamente. Neste trabalho a caracterização dos sedimentos foi efetuada ao nível de alguns elementos metálicos (As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb e Zn) considerados como problemáticos a nível ambiental e de saúde humana.

3.4.3 Critérios de qualidade para as águas e respetiva classificação

3.4.3.1 Diagrama de Piper

O diagrama de Piper corresponde a um método gráfico de representação dos iões maiores (aniões e catiões), presentes em águas subterrâneas e superficiais, e cujas percentagens são projetadas em gráficos (triangulares) separados. Segundo Hounslow (1995), a interseção da extensão das linhas dos dois pontos em gráficos triangulares para uma projeção central, em forma de losango, projeta um ponto que é representativo da maior composição iónica. Estes diagramas facultam uma análise visual e objetiva das maiores composições iónicas.

3.4.3.2 Diagrama de Stiff

O diagrama de Stiff é uma representação gráfica de representação dos iões maiores presentes na componente inorgânica das águas naturais subterrâneas ou superficiais. No essencial, um diagrama de Stiff fornece uma forma poligonal dos dados para uma cómoda comparação entre diferentes tipos de águas. A representação espacial dos iões é efetuada com referência a um eixo vertical, ou origem. Os catiões projetam-se para o lado esquerdo e os aniões projetam-se para o lado direito da origem (Hounslow, 1995).

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se a análise do conjunto de dados relativos às amostras de sedimentos de corrente e de águas superficiais de modo a fornecer um conjunto de medidas e parâmetros de síntese, que permitam descrever os dados analíticos da área em estudo.

4.1 Sedimentos de Corrente

4.1.1 Caracterização mineralógica das amostras de sedimentos

Da análise prévia à lupa binocular verificou-se que as amostras apresentavam uma similaridade entre amostras, com relativa homogeneidade em termos de distribuição granulométrica e constituídas por grãos de cor clara, essencialmente atribuídos a quartzo e plagioclase e uma pequena proporção grãos de cor negra (anfíbolos). A maior exceção foi verificada para a amostra 6, constituída por uma fração mais fina e terrígena, muito homogénea, o que dificultava a distinção entre as diferentes partículas minerais.

Pela análise dos difractogramas, obtidos por DRX (Figura 4.1; no Anexo 4 encontra-se de forma individualizada cada um dos difractogramas referentes a cada uma das amostras), foi possível verificar que as amostras são constituídas maioritariamente por quartzo, feldspato potássico e plagioclase. A presença de quantidades reduzidas de anfíbolos é ainda detetada para as amostras 2, 3, 5, 7 e 8; assim como de micas nas amostras 2 e 8. Acessoriamente duas das amostras (4 e 5) evidenciam a presença de hematite e a amostra 4 a presença de corindo (Tabela 4.1). Na figura 4.1 pode-se constatar a relativa semelhança entre as amostras, excetuando as amostras 2, 6 e 8 que apresentam quantidades detetáveis de outros constituintes minerais, enquanto nas restantes estão ausentes ou em quantidades diminutas.

Tabela 4.1 - Mineralogia nas amostras de sedimentos de corrente.

Amostra	Mineralogia das amostras em estudo
1	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase
2	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase, anfíbolos, micas
3	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase, anfíbolos
4	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase, hematite, corindo
5	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase, anfíbolos, hematite
6	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase
7	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase, anfíbolos
8	Quartzo, feldspato potássico, plagioclase, anfíbolos, micas

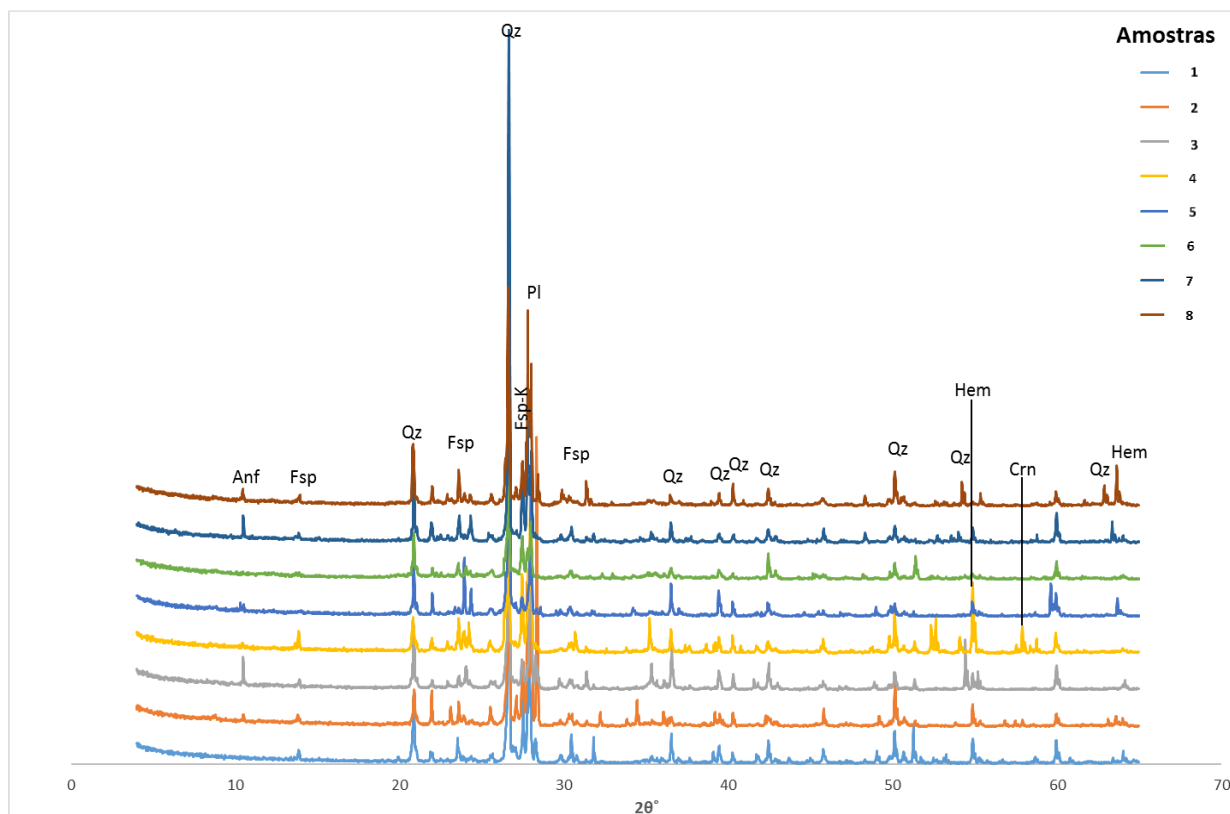


Figura 4.1 – Difractogramas sobrepostos das amostras de sedimentos (< 180 µm) analisadas por DRX.

4.1.2 Análise geoquímica

4.1.2.1 Análise estatística univariada

A matriz de dados resultantes da campanha de colheita de sedimentos é constituída por 8 amostras e 59 variáveis (Ag, Al, As, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, W, U, V, Y, Zn, Zr, e Σ TR – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). As variáveis Be, Hf, In, Re, S, Se e Te não foram consideradas no tratamento estatístico por apresentarem valores abaixo do limite de deteção. Os dados originais das análises realizadas nas amostras de sedimentos, para as duas frações, encontram-se no Anexo 2.

Na tabela 4.2 apresentam-se os parâmetros estatísticos calculados a partir dos teores totais das 47 variáveis em análise para a fração <2 mm. A análise da tabela permite-nos concluir que algumas variáveis (Ag, Ba, Cr, Fe, V e Zn) apresentam valores da média mais elevados do que os valores da mediana resultado da presença de “outliers”. Dado a mediana ser uma medida mais robusta que a média, por não ser afetada por valores extremos, considera-se que o centro da amostra equivale a este valor. Todos os elementos, com exceção de Ag, Ba, Co, Cu, Fe, Li, Mo, Sb, Sc, Ti, V, W, Y, Zn e Σ TR apresentam claramente valores superiores $Sk < 1$, apresentando uma assimetria negativa ou simétrica. Da análise da tabela 4.2 pode-se constatar que as variáveis que apresentam

maior assimetria na distribuição são as seguintes: $Ag > W > Zn > Cu > Mo > Fe > Sc > Ti > Cr > Y > V > Li > Co > Nb > Ba > Sb$ (valores de Sk superiores a 1,5).

Tabela 4.2 - Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras / teores totais das 40 variáveis em análise) para a fração < 2mm. Todas as variáveis são expressas em $mg\ kg^{-1}$ com exceção das variáveis Fe, Ca, P, Mg, Ti, Al, Na e K, expressas em % e da Ag, expressa em $\mu g\ kg^{-1}$.

	Mínimo	P25	Média	Mediana	P75	Máximo	D.P.	Moda	Assimetria	Curtose
Ag	10,0	10,0	13,3	10,0	10,0	36,0	9,19	10	2,83	8,00
Al	2,570	3,425	4,241	4,165	5,125	5,930	1,16	Múltipla	0,13	-0,73
As	0,1	0,1	0,3	0,2	0,4	0,6	0,19	0,1	0,71	-0,76
Ba	427,0	436,5	561,6	505,5	628,5	925,0	176,78	Múltipla	1,59	1,82
Bi	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	1,44	0,00
Ca	0,420	0,735	0,918	0,895	1,095	1,470	0,32	Múltipla	0,24	0,64
Cd	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	Múltipla	0,09	-1,61
Co	1,0	1,2	2,4	1,6	3,2	6,4	1,89	1,2	1,72	2,46
Cr	2,0	3,0	7,4	3,5	9,5	25,0	7,84	3,0	2,03	4,10
Cs	0,2	0,4	0,6	0,5	0,7	1,1	0,27	Múltipla	0,98	1,52
Cu	1,0	1,3	2,9	1,6	3,1	9,8	2,93	1,5	2,42	6,16
Fe	0,210	0,285	0,581	0,370	0,685	1,760	0,52	Múltipla	2,12	4,64
Ga	5,9	8,5	10,0	10,0	12,0	13,2	2,43	Múltipla	-0,35	-0,26
K	1,240	1,840	2,043	2,055	2,295	2,720	0,44	Múltipla	-0,43	1,05
Li	3,8	4,7	5,7	5,2	6,2	9,9	1,90	Múltipla	1,75	3,52
Mg	0,020	0,025	0,098	0,065	0,165	0,250	0,09	0,02	1,05	-0,47
Mn	61,0	157,0	236,5	233,5	263,5	523,0	135,22	Múltipla	1,32	3,09
Mo	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,09	0,025	2,24	5,40
Na	0,946	1,493	1,734	1,764	2,045	2,323	0,43	2,045	-0,64	0,38
Nb	0,4	0,5	1,3	1,0	1,7	3,8	1,17	Múltipla	1,60	2,27
Ni	1,0	1,2	2,6	2,0	4,2	5,4	1,71	1,20	0,70	-1,34
P	0,005	0,006	0,010	0,008	0,013	0,021	0,01	Múltipla	1,37	1,19
Pb	11,5	13,3	16,6	16,0	19,4	23,6	4,19	M	0,46	-0,42
Rb	24,6	47,4	50,0	50,8	56,2	66,2	12,12	53,8	-1,21	2,86
Sb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,03	0,03	1,50	2,04
Sc	0,3	0,5	1,5	0,9	1,9	5,2	1,63	0,50	2,08	4,51
Sn	0,1	0,2	0,4	0,4	0,5	1,0	0,29	Múltipla	1,31	2,06
Sr	144,0	208,0	232,0	240,5	247,0	321,0	50,28	Múltipla	-0,02	1,77
Ta	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,07	0,05	1,44	0,00
Th	0,8	1,0	2,1	2,1	3,1	3,8	1,20	Múltipla	0,34	-1,64
Ti	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,09	Múltipla	2,07	4,57
Tl	0,17	0,25	0,29	0,29	0,33	0,41	0,07	Múltipla	0,18	0,64
U	0,1	0,3	0,4	0,4	0,6	0,9	0,25	0,30	0,94	0,91
V	6,0	7,0	13,9	9,0	18,0	37,0	10,74	Múltipla	1,77	2,85
W	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,09	0,05	2,63	7,03
Y	0,9	1,6	3,5	2,7	4,4	10,2	3,01	Múltipla	1,81	3,66
Zn	3,9	4,9	12,9	7,9	11,2	51,7	15,96	Múltipla	2,63	7,13
Zr	7,6	9,4	12,5	12,2	16,3	16,5	3,59	Múltipla	-0,01	-1,94
ΣETR	11,1	14,6	30,3	25,8	41,8	66,6	19,10	Múltipla	0,96	0,37

Na tabela 4.3 apresentam-se os parâmetros estatísticos calculados a partir dos teores totais das 47 variáveis em análise para a fração < 0,180 mm. A análise da tabela permite-nos concluir que algumas variáveis (Th, Zr e ΣTR) apresentam valores da média mais elevados do que os valores da mediana resultado da presença de “outliers”. Todos os elementos, com exceção de Cu, Th, Zn e ΣETR apresentam claramente valores superiores $Sk < 1$, apresentando uma assimetria negativa ou simétrica. Da análise da tabela 4.3 pode-se constatar que as variáveis que apresentam maior assimetria na distribuição são as seguintes: $Th > Zn > \Sigma TR > U$ (valores de Sk superiores a 1,5).

Tabela 4.3 - Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras / teores totais das 40 variáveis em análise) para a fração <0,180 mm. Todas as variáveis são expressas em mg kg⁻¹ com exceção das variáveis Fe, Ca, P, Mg, MO, Ti, Al, Na, K e S, expressas em % e da Ag, expressa em µg kg⁻¹.

	Mínimo	P25	Média	Mediana	P75	Máximo	D.P.	Moda	Assimetria	Curtose
Ag	22,0	31,0	40,4	37,0	48,0	64,0	16,23	10,0	0,63	-0,14
Al	5,770	5,985	6,705	6,800	7,345	7,610	0,76	Múltipla	-0,12	-2,21
As	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,18	0,10	-0,57	-2,23
Ba	548,0	576,0	719,0	736,0	821,0	938,0	143,81	Múltipla	0,14	-1,47
Bi	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,02	-0,52	-1,69
Ca	1,330	1,510	1,748	1,770	1,900	2,290	0,32	Múltipla	0,19	0,05
Cd	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,02	0,10	0,13	-1,13
Co	4,1	6,1	8,3	8,2	10,7	12,2	3,04	12,2	-0,06	-0,88
Cr	16,0	22,0	29,3	30,0	37,0	40,0	9,07	Múltipla	-0,35	-1,32
Cs	0,5	0,7	1,0	0,9	1,2	1,7	0,39	Múltipla	0,76	0,44
Cu	4,4	5,7	8,7	6,5	10,5	19,6	4,96	Múltipla	1,82	3,52
Fe	1,050	1,545	2,243	2,390	2,785	3,450	0,83	Múltipla	-0,24	-0,77
Ga	13,1	14,5	15,4	14,8	16,5	18,2	1,64	Múltipla	0,65	0,08
K	1,740	2,315	2,421	2,440	2,570	2,980	0,35	2,33	-0,59	2,10
Li	6,6	7,0	8,9	8,5	10,9	12,2	2,24	10,9	0,30	-1,99
Mg	0,130	0,350	0,424	0,465	0,525	0,580	0,15	Múltipla	-1,21	1,31
Mn	354,0	747,5	982,8	960,5	1252,5	1587,0	390,20	Múltipla	-0,03	-0,25
Mo	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,12	0,43	-0,56	-0,47
Na	2,026	2,250	2,418	2,469	2,605	2,673	0,23	Múltipla	-0,77	-0,62
Nb	3,9	7,2	8,8	8,8	10,1	14,3	3,04	Múltipla	0,32	1,34
Ni	4,1	8,5	10,2	10,6	11,8	15,7	3,45	Múltipla	-0,34	0,93
P	0,018	0,035	0,040	0,040	0,047	0,061	0,01	0,035	-0,21	1,38
Pb	18,7	19,6	23,1	22,9	25,5	30,5	3,99	Múltipla	0,74	0,14
Rb	40,7	48,1	57,6	53,5	68,4	80,0	13,35	Múltipla	0,56	-0,76
Sb	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,04	Múltipla	0,00	-2,64
Sc	1,9	5,4	6,6	7,0	8,3	9,3	2,42	Múltipla	-1,02	0,84
Sn	1,2	1,4	1,7	1,7	2,1	2,3	0,42	1,9	0,23	-1,70
Sr	259,0	264,5	322,6	311,5	372,0	426,0	62,07	259,0	0,54	-1,04
Ta	0,3	0,5	0,6	0,6	0,7	1,0	0,22	Múltipla	0,77	0,92
Th	4,7	14,8	59,8	28,7	64,1	258,6	83,85	Múltipla	2,41	6,08
Tl	0,22	0,28	0,34	0,32	0,39	0,48	0,08	Múltipla	0,58	0,06
Ti	0,2	0,4	0,7	0,7	0,9	1,2	0,32	Múltipla	-0,04	-0,85
U	1,0	2,4	5,0	3,7	8,0	10,8	3,73	Múltipla	0,96	-0,61
V	29,0	38,5	53,8	60,0	65,5	73,0	16,32	Múltipla	-0,55	-1,36
W	0,1	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,17	Múltipla	-0,19	-0,56
Y	10,3	16,9	25,5	24,4	32,8	45,4	11,35	0,30	0,54	-0,12
Zn	26,1	31,9	44,9	39,3	49,7	91,3	20,72	Múltipla	1,87	4,17
Zr	36,3	48,3	84,7	71,9	125,5	149,9	43,27	Múltipla	0,44	-1,55
ΣETR	59,7	138,7	367,3	228,5	532,6	1078,9	351,28	Múltipla	1,51	1,54

Os resultados analíticos mostram uma grande variação composicional e de concentrações nos diferentes pontos de recolha de amostras. Para a grande maioria das variáveis as concentrações são superiores na fração <0,180 mm em relação à fração <2 mm com diferenças mais marcantes para os ETR, o Th e o U.

Praticamente todos valores médios e medianas dos elementos analisados encontram-se abaixo dos teores para sedimentos não contaminados (fração <0,180 mm e quando não existem esses valores comparou-se com os teores mais elevados determinados em sedimentos apresentados por Reimann

& Caritat, 1998). Alguns dos elementos que têm concentrações similares a esses valores de referência são o Al, Ba, Ca, K, Mn, Na, Pb, Sr, Th e U.

A grande exceção são os ETR, cujos teores, em especial na fração <0,180 mm, são anormalmente elevados, com destaque para o Ce e o La, pelo que interessa uma análise mais pormenorizada deste grupo de elementos, metais estratégicos, críticos e de elevado valor económico.

4.1.2.2. Análise estatística bivariada

Nas tabelas 4.4 e 4.5 apresentam os valores dos coeficientes de correlação (para valores superiores a 0,7) e os pares das variáveis para as frações <2 mm e <0,180 mm, respetivamente. No anexo 5 apresenta as matrizes de correlação das variáveis para as duas frações.

Tabela 4.4 – Correlações consideradas significativas ($>|0,7|$) na fração <2 mm entre os diferentes elementos analisados (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).

Coefficientes	Pares
0,99 - 0,96	Mo/Cu, Zn/Cu, Fe/Cu, Fe/Co, P/Co, Ba/Co, W/Zn, Sc/Co, Sc/To, Y/Fe, Ag/Zn, Fe/Mo, P/V, Ba/P, Ba/Cr, Ti/Mo, Ti/Fe, Ti/Cr, Na/Ca, W/Zn, W/Ag, Sc/Mo, Sc/Cu, Y/P, Y/Cr, Nb/Co, Nb/Ti, P/Fe, Cr/Zn, Cr/Sb, Cr/P, P/U, Mg/Ni, Mg/P, Ti/Co, W/Fe, W/Co, W/Ti, Sc/Pb, Sc/P, Sc/Ba, Sc/W, Y/Cu, Y/U, Y/Ti, Nb/Fe, Nb/P, Nb/Cr, Nb/Ba, Nb/Y, Ga/Na, V/Cu, Sb/Co, Ba/Fe, Ti/Cu, Ti/Sb, Ag/Cu, W/Cr, Y/Mo, Y/Zn, Y/Ba, Cs/U
0,95 - 0,91	Mo/Ag, Co/Cu, U/Ni, U/Co, Sb/Cu, P/Ni, La/Ni, Mg/V, Ti/Ba, Al/Pb, Sc/U, Y/Sn, Nb/Sb, Nb/Mg, Ag/Mo, U/Fe, U/Zn, Mg/U, Ti/P, Sn/Pb, Sn/Co, Sn/Cr, Sc/Sn, Ta/Mg, Nb/Mo, Nb/V, Nb/Sn, Al/Ca, W/Sb, Nb/Zn, Cs/Co, Cs/V, Cs/P, Cs/Sn, Cs/Sc, Co/Ni, Fe/Ag, Sb/Zn, Sb/U, V/Ni, P/Mo, P/Cu, Ba/Mo, Ba/Pb, Ba/U, Ba/Sb, Ti/Mn, Sn/V, Sn/Ti, Be/Zn, Be/Sn, Y/La, Nb/Cu, Nb/Pb, Nb/W, Cs/Ni, Cs/Fe, Cs/Ba, Mo/Mn, Mn/Zn, U/Cu, La/U, Cr/Ag, Mg/Fe, Sn/Zn, Y/Ni, Ta/P, Cs/Cu
0,90 - 0,80	V/Mo, Mg/Pb, Ti/U, Sc/Mn, Sc/La, Cs/Mo, Cs/Tb, Nb/Ta, Mn/Cu, Ca/Sr, La/Mn, La/Fe, Cr/Ni, W/P, Sn/U, Sc/Ni, Li/Bi, Nb/Ni, Nb/Mn, Cs/Sb, Ga/Sn, Co/Pb, Fe/Ni, Fe, Mn, As/Ni, Sb/Ni, Sb/As, Be/Pb, Be/W, Y/Pb, Ta/Cr, Nb/La, Nb/Al, Cs/Pb, Cs/Zn, Cs/La, Cs/Al, Cs/Ce, Ga/Ni, Ga/Mg, As/Co, U/Pb, U/Zn, V/Ag, P/As, Cr/Mn, Cr/As, Ti/La, Al/P, Sn/Mn, Ta/Sb, Cs/As, Cs/Ti, Co/Ag, Mn/Ag, Mn/Co, Th/Ni, Al/U, W/Mn, V/Pb, Cr/Pb, Sn/Pb, Sn/Sb, Ta/Ti, Ta/Sc, Mo/Ni, Sb/Mn, Mg/Ca, Al/V, Cs/Mn, Ga/Ba, , Ni/Cu, Mg/Cu, Ba/Ag, Mg/As, La/Sb, Sn/Ag, a/Pb, Ta/Ni, Ca/Ni, Ba/As, Na/Pb, P/Ag, La/Pb, Al/Ti,
0,80 - 0,70	Mg/Zn, Na/Ni, Al/Fe, K/Al, /Mn, Na/Mg, Sb/Pb, Tl/Pb, Al/Mo, Pb/Cu, W/Pb, Tl/Zr, Zr/K, Ga/Cr, Eu/Cr, Ga/Th, Sb/Cd, Mg/Th, W/Ni, Th/Al, Rb/Ca, Ta/Ce, Th/Co, Cd/Pb, V/Th, Sn/Th, Sn/As, Sn/Na, K/Na, Al/Th, Al/Sr, Sc/Th, Th/Fe, Ti/Cd, P/Ca, Rb/Pb, Nb/Ca, Al/Ca, Cd/Cu, Cs/Cd, As/Ag, Ba/Th, Ba/Cd, Bi/K, Bi/Rb

Tabela 4.5 – Correlações consideradas significativas ($>|0,7|$) na fração <0,180 mm entre os diferentes elementos analisados (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).

Coefficientes	Pares
0,99 - 0,96	V/Fe, Nb/Ta
0,95 - 0,91	Y/U, Y/Mo, Zr/U,
0,90 - 0,80	Sc/Fe, Cr/Mo, W/Fe, Sc/V, Ga/K, Co/Ni, Sc/Bi, W/V, Cs/Zn, Tl/K, Sc/Mg, Bi/Mo
0,80 - 0,70	Zr/Th, Nb/Mn, W/Zn, Sc/Ni, V/Sb, V/Bi, Mg/V, Sc/W, Co/Mo, P/U, V/Mn, Bi/Cu, Cr/Sb, Sn/Zn, Cr/Co, Nb/Zr, Th/Pb, Sb/Fe, Mg/Fe, Mg/Sb, Al/Cd, Sn/Fe, Sb/Ni, Cr/Fe, Mn/Ca, Li/K Ag/Ca, Bi/Na, Bi/Sr, Mg, Th, Na/Cu, Na/Zn, Sr/In

4.1.2.3. Análise detalhada do comportamento dos Elementos de Terras Raras (ETR) nos sedimentos de corrente

Os ETR constituem um grupo de 14 elementos que vão desde o La ao Lu, ocorrendo preferencialmente associados a minerais pesados, tais como monazite, bastenasite, alanite e xenotima, podendo ainda substituir determinados elementos em minerais como o zircão, apatite,

titanite, entre outros (Burt, 1989). As suas propriedades químicas e físicas são semelhantes, essencialmente devido à natureza das suas configurações eletrónicas, dando origem a um estado de oxidação 3+, particularmente estável na maioria das condições de pressão-temperatura vigente no nosso planeta. Os ETR são normalmente divididos em três subgrupos: leves (ETRL - do La ao Nd); intermédios (ETRI - do Pm ao Ho); e pesados (ETRP - do Er ao Lu).

A tabela 4.6 apresenta os parâmetros estatísticos calculados a partir das concentrações relativas dos ETR nos sedimentos de corrente e para as duas frações granulométricas em estudo. Como parâmetros de localização central, são apresentados a média aritmética, a mediana e a moda. Como parâmetros de dispersão, são apresentados o desvio padrão e o valor dos percentis 25 e 75. A descrição individual de cada elemento constituinte do grupo dos ETR encontra-se no capítulo seguinte, mais concretamente no subcapítulo 5.1.

Tabela 4.6 - Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras/ teores totais em ETR) para a fração <2 mm e <0,180 mm. Todas as variáveis são expressas em mg kg⁻¹.

	ETR	Mínimo	P ₂₅	Média	Mediana	P ₇₅	Máximo	Moda	Assimetria	Curtose
Fração < 2 mm	La	2,30	2,95	6,04	5,30	8,45	12,60	Múltipla	0,81	-0,10
	Ce	4,57	6,10	12,77	11,78	17,53	26,76	Múltipla	0,76	-0,06
	Pr	0,50	0,60	1,41	1,15	2,00	3,30	Múltipla	1,06	0,60
	Nd	1,80	2,60	5,63	4,30	8,00	13,40	Múltipla	1,09	0,63
	Sm	0,30	0,50	1,13	0,85	1,80	2,40	0,50	0,61	-1,30
	Eu	0,30	0,35	0,49	0,50	0,60	0,70	Múltipla	-0,09	-1,19
	Gd	0,30	0,40	0,96	0,80	1,40	2,20	0,40	0,84	-0,34
	Tb	0,05	0,05	0,09	0,05	0,10	0,30	0,05	2,47	6,38
	Dy	0,20	0,30	0,69	0,55	0,90	1,80	0,30	1,47	2,25
	Ho	0,05	0,05	0,13	0,08	0,15	0,40	0,05	2,02	4,06
	Er	0,10	0,20	0,40	0,30	0,45	1,20	0,20	2,04	4,70
	Tm	0,05	0,05	0,08	0,05	0,08	0,20	0,05	2,34	5,47
	Yb	0,20	0,20	0,39	0,25	0,45	1,10	0,20	2,17	4,97
	Lu	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,20	0,05	2,83	8,00
Fração < 0,180 mm	La	12,70	32,75	94,95	54,00	131,55	310,30	Múltipla	1,76	2,87
	Ce	29,36	71,80	202,92	117,27	284,42	646,99	Múltipla	1,70	2,47
	Pr	3,70	9,00	25,13	15,45	37,15	74,10	Múltipla	1,47	1,39
	Nd	14,80	34,50	94,16	59,80	140,70	268,50	Múltipla	1,40	0,95
	Sm	3,20	7,20	17,30	12,35	26,65	42,80	Múltipla	1,15	-0,09
	Eu	0,80	1,20	1,58	1,50	1,85	2,70	1,50	0,88	1,21
	Gd	2,50	5,85	12,51	9,30	19,65	28,00	Múltipla	1,00	-0,50
	Tb	0,40	0,65	1,39	1,15	2,05	3,00	Múltipla	0,89	-0,40
	Dy	2,10	4,00	6,46	5,80	8,75	12,50	Múltipla	0,73	-0,13
	Ho	0,40	0,65	0,95	0,90	1,15	1,80	0,90	0,97	1,43
	Er	1,10	1,75	2,35	2,30	2,80	4,00	2,40	0,69	0,49
	Tm	0,20	0,25	0,31	0,30	0,35	0,50	0,30	0,86	0,84
	Yb	1,00	1,55	1,94	1,75	2,40	3,10	1,60	0,56	-0,09
	Lu	0,10	0,20	0,26	0,30	0,30	0,40	0,30	-0,49	0,42

Pela análise das tabelas 4.7 e 4.8 (no Anexo 5 e 6) apresentam-se as matrizes de correlação das variáveis para as duas frações), pode-se verificar que as principais correlações dos ETR são entre os próprios elementos constituintes deste grupo e com outros metais. Tendencialmente as ETRL tendem a associar-se mais entre si e do mesmo modo as ETRP que também se associam

consideravelmente às ETRI. Estas correlações podem ser indicativas das fontes comuns entre os diferentes subgrupos das ETR.

Tabela 4.7 - Correlações consideradas significativas ($>|0,7|$) na fração <2 mm entre os diferentes elementos analisados e as ETR (correlações positivas).

Coefficientes	Pares
1,00	Ag/Lu; In/Tb
0,99-0,96	Pr/Ce, Nd/La, Nd/Ce, Nd/Pr, Sm/Ni, Tb/Mo, Tb/Mo, Tb/Zn, Ho/Co, Ho/Fe, Ho/V, Ho/Cr, Ho/Sc, Er/Sc, Yb/Cu, Yb/Fe, Yb/Cr, Yb/Y, Yb/Tb, Yb/Ho, Yb/Er, In/Mo, In/Zn, Sm/La, Sm/Nd, Gd/P, Gd/Nd, Tb/Cr, Tb/Sc, Dy/P, Dy/Gd, Ho/P, Ho/Ba, Ho/Ti, Er/Cu, Er/Fe, Er/Dy, Er/Ho, Tm/Fe, Tm/Cr, Tm/Ho, Yb/Mo, Yb/Zn, Yb/Co, Yb/V, Lu/Zn, Tb/Ag, Tb/Y, Dy/Co, Dy/U, Dy/Nd, Ho/Cu, Ho/Zn, Ho/W, Er/Tb, Tm/Mo, Tm/Cu, Yb/Ti, Yb/W, Yb/Dy, Yb/Tm, Lu/Tb, Dy/Fe, Dy/V, Dy/Cr, Dy/Ba, Ho/Mo, Ho/Tb, Er/Mo, Er/Co, Er/V, Er/P, Er/Ti, Tm/Co, Tm/V, Tm/Tb, Yb/P, Lu/Cu, Nb/Er,
0,95-0,91	Ce/Th, Pr/Ni, Pr/Y, Nd/Co, Sm/P, Gd/Mg, Gd/Y, Gd/Ce, Dy/Ti, Dy/Sm, Dy/Pr, Ho/Sn, Ho/Nd, Eu/U, Er/Ba, Er/W, Tm/Sb, Tm/Y, Tm/Er, Yb/Nd, Nb/Tm, Nb/Yb, Nd/Cr, Nd/Mg, Nd/Ba, Nd/Sn, Nd/Sc, Tb/Co, Ho/Sb, Er/Sn, Er/Nd, Tm/Ag, Yb/Sb, Yb/Sn, Yb/Pr, Lu/Mo, Lu/Tm, Ta/Mg, Nb/Gd, Cs/Dy, Cs/Er, Ga/Ca, Ce/Ni, Ce/P, Nd/As, Sm/Al, Gd/V, Dy/Cu, Dy/Zn, Dy/La, Dy/Mg, Dy/Ce, Dy/Sm, Dy/Tb, Ho/U, Er/Gd, Lu/Yb, Sc/Nd, Cs/Yb, Y/La, Ce/Y, Dy/Mo, Ho/Mg, Er/Ag, Er/Sb, Er/Be, Lu/Fe, Lu/Sc, Lu/Er, Sm/Th, Sm/Y, Gd/Fe, Gd/Be, Tb/P, Dy/Ni, Dy/Pb, Ho/Ag, Ho/La, Yb/Mn, Lu/Cr, Lu/Ho, Ta/P, Cs/Sm, Cs/Cu
0,90-0,80	Ce/Co, Nd/Mo, Nd/Cu, Nd/Mn, Sm/V, Eu/Al, Tb/Sn, Dy/Mn, Dy/Sb, Dy/W, Dy/Be, Nb/Pr, Cs/Tb, Nb/Ta, La/Mn, La/Fe, Gd/Al, Tb/U, Yb/Mg, Ce/Fe, Ce/Ba, Nd/Zn, Nd/Sb, Sm/Cr, Sm/Sc, Dy/Eu, Ho/Mn, Ho/Sm, Er/Ba, Er/Sm, Yb/Ni, Yb/Sm, Ta/Cr, Ta/Ho, Nb/Ce, Nb/Sm, Cs/Ce, Ga/Nd, Ga/Eu, Nd/Pb, Ho/Ni, Tm/U, Tm/Nd, Lu/V, Lu/Sc, Ta/Sb, Ce/Cu, Eu/U, Pr/Sb, Ce/Al, Tm/Mg, Yb/As, Lu/Co, Lu/Mn, Ta/Fe, Tm/Pr, Ga/Ce, Ga/Gd, Ce/Tm, Ce/Mo, Gd/Mo, Gd/Cu, Gd/Mn, Gd/Sb, Ta/Ti, Ta/Sc, Eu/Nd, Eu/Sm, Ga/Pr, Pr/W, Sm/Na, Eu/P, Eu/Y, Tb/Gd, Gd/Mn, Ta/Sn, La/Sb, Ce/Zn, Sm/Co, Sm/As, Sm/Sb, Sm/Ca, Eu/Mn, Ho/As, Yb/Pb, Ta/Pb, Ta/Ni, Lu/Ba, Lu/Sn, Eu/Na, Tb/Ni, In/Ni, Te/Sm, In/Sm, Ta/Nd, Ga/Nb, P/Ag, La/Pb, Al/Ti, Ce/Pb, Ce/Sb, Eu/Ce, Dy/As, Dy/Th
0,80-0,70	Eu/Pr, Yb/Al, Eu/Sc, Pr/Ag, Nd/Ag, Lu/Pr, Lu/Nd, Ho/Eu, Tm/Sm, Ta/Pr, Er/Th, Yb/Th, Ga/Ho, Ce/Ta, Eu/Fe, Ta/As, Eu/Cr, Ce/Na, Ta/Ce, La/Ca, Gd/Zr, Eu/Zr, Tb/Al, Eu/Mo, Eu/Zn, Eu/Th, Eu/Sb, Hf/Dy, Pr/Ca, Lu/As

Tabela 4.8 - Correlações consideradas significativas ($>|0,7|$) na fração <0,180 mm entre os diferentes elementos analisados e as ETR (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).

Coefficientes	Pares
1,00	Ce/La, Ho/Eu, Hf/Zr, Pr/Ce, Nd/Pr
0,99-0,96	Nd/La, Eu/Y, Ho/Y, Sm/Pr, Sm/Nd, Dy/Gd, Ho/Dy, Nb/Ta, Ce/Th, Yb/Er, Nd/U, Gd/Nd, Tb/Sm, Ho/Tb
0,95-0,91	Pr/U, Gd/Y, Ta/Ti, Er/Y, Gd/Eu, Yb/Tm, Nd/Th, Hf/Sm, Hf/Dy, Gd/Er, Tb/Nd, Ho/Nd, Ho/Gd, Tm/Ho, Dy/Zr, Hf/Y
0,90-0,80	Tm/Eu, Zr/La, Nd/Y, Dy/Nd, Lu/Yb, Sm/Th, Eu/Sm, Hf/Ho, Hf/Eu, Eu/P, Lu/Tm, W/V, Eu/Zr, Tm/Dy, Dy/Ce, Yb/Bi, Yb/W, Lu/Er, Hf/Ti, Eu/Nd, Dy/P
0,80-0,70	Yb/Mn, Yb/Sn, Yb/Ti, Eu/Pr, Er/Gd, Nb/Er, Er/U, Hf/Th, Lu/W, Gd/P, Dy/Ti, Lu/Pb, Ho/Ti, Tb/Ti, Lu/Mn, Lu/Fe, Eu/Ce, Ho/W, Lu/Eu, Eu/La, Lu/Cr, Sm/P, Gd/Ti, Yb/Fe, Lu/V, Yb/Tb, Hf/Tm, Ho/Ce Al/Pr, Al/Nd, Al/Sm, Al/Gd, Al/Gd, Al/Ce

Os ETR têm tendência a ocorrer na natureza como um grupo coerente que dada a similaridade de comportamento dos vários elementos constituintes deste grupo é usual a sua análise em termos globais, ou seja, do somatório das suas concentrações. Por conseguinte, na figura 4.2 apresenta-se o diagrama de extremos e quartis do Σ ETR e a variação dos respetivos teores ao longo do perfil do rio Monapo e seus afluentes para as duas frações analisadas.

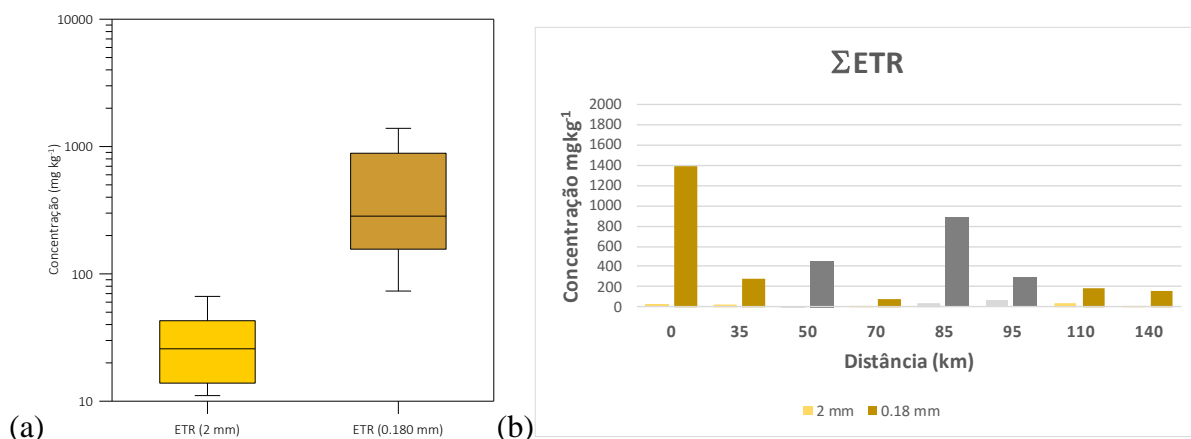


Figura 4.2 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável ΣETR e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Pela análise das tabelas 4.2 e 4.3, assim como a figura 4.2a, constata-se que os dados apresentam uma distribuição do tipo multimodal assimétrica negativa para a fração <2 mm e multimodal assimétrica positiva para a fração <0,180 mm. Considerado de forma individualizada os diferentes ETR constata-se que para a fração <2 mm a maioria das ETRL apresenta uma distribuição multimodal (exceção do Sm) enquanto que as ETRI e ETRP apresentam distribuições unimodais assimétricas positivas. Para a fração <0,180 mm o comportamento não é tão claro nas ETRL. As ETRL apresentam distribuições do tipo multimodais com assimetria positiva enquanto as ETRP apresentam distribuições unimodais com simetria ou assimétricas negativas.

Tal como já foi anteriormente referido as concentrações dos ETR na fração <0,180 mm são consideravelmente superiores às verificadas na fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 11,1 e 66,6 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 73,3 e 1309,6 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm, sendo nos pontos 1 e 5 que se determinaram as concentrações mais elevadas (1309,6 mg kg⁻¹ e 889,5 mg kg⁻¹, respetivamente – Figura 4.2; Tabela 4.7).

A distribuição percentual entre os ETRL, ETRI e ETRP permite constatar que existe uma dominância das ETRL em comparação com os ETRI e os ETRP, estes últimos apresentando os teores mais baixos em termos proporcionais (Figura 4.3; Tabela 4.6).

O perfil de distribuição dos ETR pode ser um importante indicador das fontes dos mesmos em solos e sedimentos. Do mesmo modo, a utilização do fracionamento entre os ETR pode ser importante na compreensão dos processos genéticos de rochas e minerais, e nas alterações subsequentes (Marques, 2016).

A avaliação do grau de diferenciação ou fracionamento entre os ETRL e os ETRP é habitualmente determinado pela razão $(La/Yb)_{NASC}$, ou seja, pela razão das concentrações de La e Yb normalizadas ao NASC (North American Shale Composite – Gromet et al., 1984) (Marques, 2016).

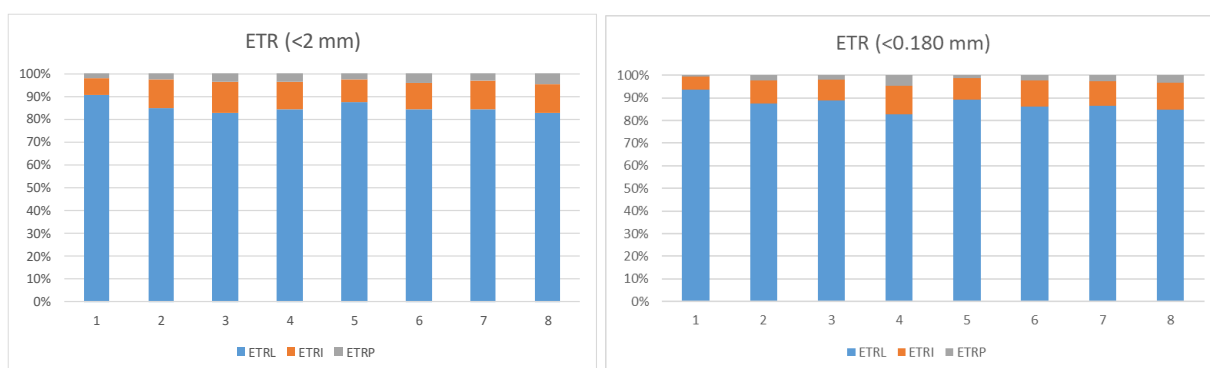


Figura 4.3 - Repartição percentual entre as concentrações em Elementos Terras Raras Leves (ETRL), Elementos de Terras Raras Intermédias (ETRI) e Elementos de Terras Raras Pesadas (ETRP) nas amostras de sedimentos de corrente do rio Monapo e dos seus afluentes principais.

Da mesma forma pode-se determinar o fracionamento entre os ETRL e os ETRI, usando neste caso a razão $(La/Sm)_{NASC}$. Os resultados destas razões para as amostras de sedimentos de corrente encontram-se na tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Síntese dos dados das concentrações dos ETR, razões e cálculo das principais anomalias para cada um dos pontos de amostragem.

		1	2	3	4	5	6	7	8
Fração <2 mm	$\Sigma ETRL$	18,63	28,02	13,36	12,24	37,34	58,46	38,22	9,47
	$\Sigma ETRP$	1,40	3,56	2,02	1,63	3,39	8,10	4,65	1,60
	ΣETR	20,03	31,58	15,38	13,87	40,73	66,56	42,87	11,07
	$\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$	13,31	7,87	6,61	7,51	11,01	7,22	8,22	5,92
	La/Sm	1,64	0,97	0,92	1,00	0,88	0,94	0,80	1,37
	La/Yb	2,23	1,94	1,50	1,36	2,03	1,11	1,65	1,11
	(Ce/Ce^*)	1,04	1,04	1,00	1,00	0,94	0,90	0,91	0,93
	(Eu/Eu^*)	3,04	2,37	4,14	4,69	1,66	1,38	1,56	3,93
Fração <0,180 mm	$\Sigma ETRL$	1342,69	255,78	413,78	63,76	827,15	261,96	171,76	138,74
	$\Sigma ETRP$	47,90	23,70	33,70	9,50	58,70	27,00	17,40	17,50
	ΣETR	1390,59	279,48	447,48	73,26	885,85	288,96	189,16	156,24
	$\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$	28,03	10,79	12,28	6,71	14,09	9,70	9,87	7,93
	La/Sm	1,29	0,82	0,98	0,71	0,83	0,74	0,78	0,85
	La/Yb	18,79	2,73	3,44	1,23	5,34	2,40	2,29	1,82
	(Ce/Ce^*)	0,93	0,90	0,86	0,93	0,90	0,87	0,91	0,91
	(Eu/Eu^*)	0,27	0,69	0,52	1,28	0,38	0,59	0,70	1,00

No grupo dos ETR existem dois elementos que, em condições naturais, podem tomar um estado de oxidação diferente do trivalente, sendo eles o Ce e o Eu. Em ambiente oxidante o Ce pode passar de um estágio trivalente (Ce^{3+}) para um estágio tetravalente (Ce^{4+}), diminuindo o seu raio iónico. Exemplos desta reação podem ocorrer em ambientes superficiais, durante a meteorização (Gouveia et al., 1993; Marques et al., 2014a; Prudêncio et al., 1995, 2010; *in* Marques, 2016). No caso do Eu, e em ambientes redutores, este elemento pode ocorrer na forma Eu^{2+} , aumentando o seu raio iónico. Um comportamento anómalo do Eu pode ser expectável em diversas fases minerais, mas o mais comum é nas plagioclases (mas também noutros feldspatos), onde o Eu^{2+} pode substituir o Na e o Ca de uma forma mais efetiva do que o Eu^{3+} . Deste modo, as anomalias de Ce e de Eu podem ser usadas como indicadores geológicos/mineralógicos (Prudêncio, 2009; *in*

Marques, 2016). O grau das anomalias de Ce e Eu nas amostras de sedimentos foi medido pelas razões Ce/Ce^* e Eu/Eu^* (Tabela 4.9), em que se dividiu a concentração do elemento pelo valor extrapolado unindo na representação gráfica de Masuda-Coryell (Coryell et al., 1963; Masuda, 1962) os pontos representativos de La e Nd (para o Ce) e do Sm e Tb (para o Eu).

De acordo com os resultados apresentados na tabela 4.9, o fracionamento entre os ETRL e os ETRP é ligeiramente superior nas amostras pertencentes à fração <0,180 mm, quando comparados com os valores obtidos na fração <2 mm. Relativamente à diferenciação entre os ETRL e os ETRI não é visível uma diferenciação clara entre as duas frações, havendo, no entanto, uma tendência para a obtenção dos valores mais elevados na fração <2 mm. A razão (Eu/Eu^*) confirma a existência de uma anomalia positiva de Eu na fração <2 mm e de uma anomalia negativa de Eu na fração <0,180 mm para a maioria das amostras.

A figura 4.4 apresenta as curvas de distribuição dos ETR, normalizadas ao NASC, das amostras de sedimentos de corrente do rio Monapo e dos seus afluentes principais para a fração <2 mm e fração <0,180 mm, no qual são notórias diferenças muito significativas, não só no enriquecimento dos ETR (principalmente ETRL e em Lu) na fração <0,180 m, assim como no padrões geral de distribuição, com destaque para a inversão da anomalia de Eu, tal como anteriormente já foi referido.

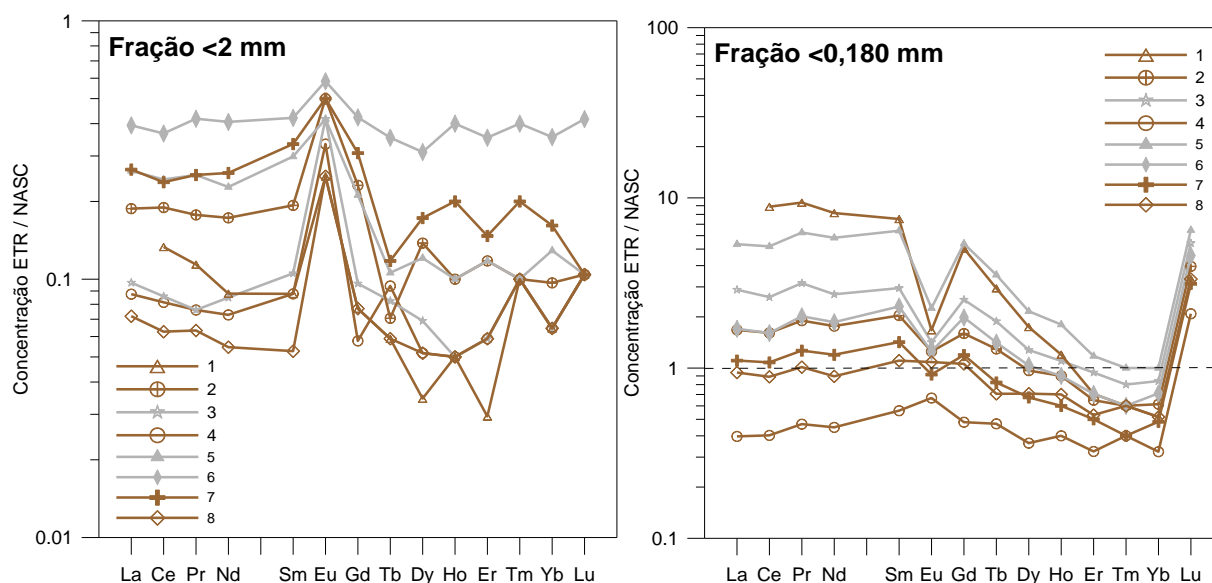


Figura 4.4 – Perfis de distribuição dos ETR (normalizadas ao NASC) das amostras de sedimentos de corrente do rio Monapo e dos seus afluentes principais: (a) fração <2 mm; (b) fração <0,180 mm.

4.1.2.4. Análise estatística por Classificação Hierárquica Ascendente

Dado o elevado número de correlações obtidas pela análise estatística univariada, foi aplicado o método de classificação hierárquica ascendente (Modo R e Modo Q) aos dados químicos das amostras, com o intuito de verificar a existência de similaridades entre as diferentes variáveis

determinadas. As figuras 4.5 e 4.6 mostram os resultados dessa análise estatística para as frações de <2 mm e <0,180 mm, respetivamente.

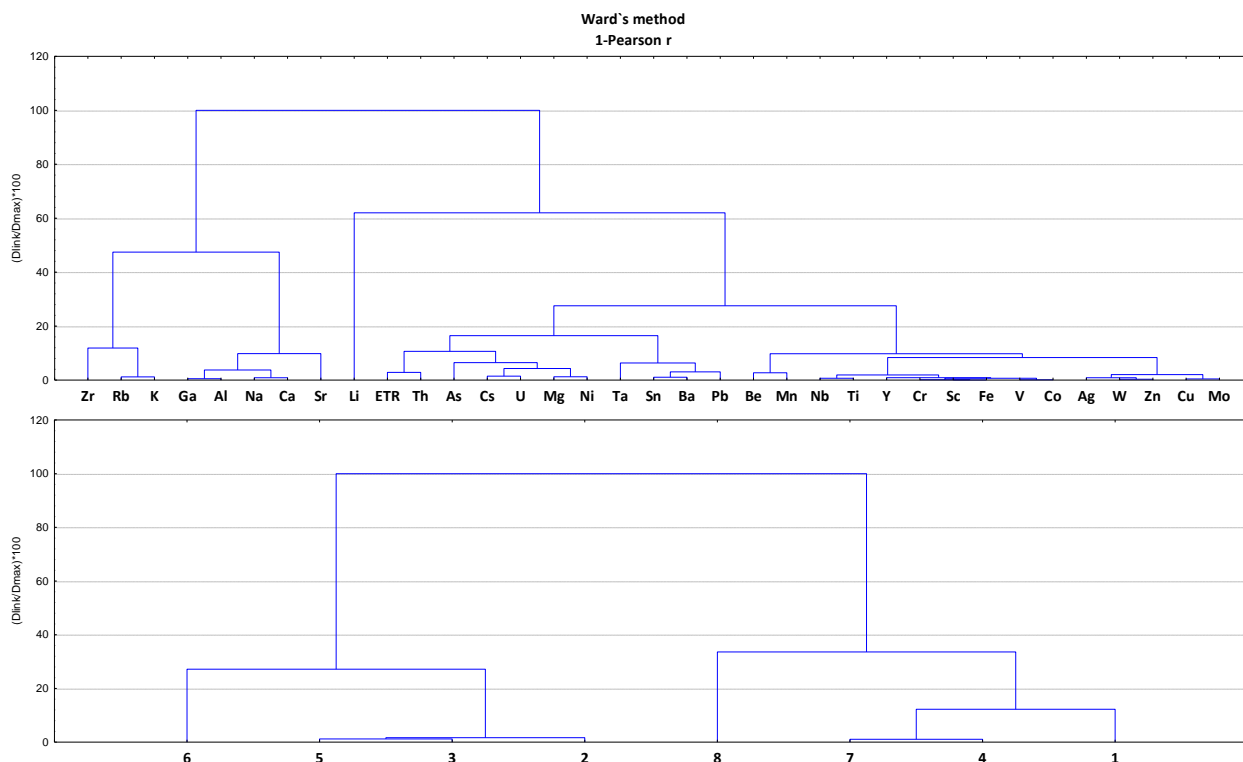


Figura 4.5 - Dendrograma resultante da aplicação da Classificação Hierárquica em Modo R e Modo Q dos dados relativos à fração <2 mm.

Relativamente à fração <2 mm é possível observar que o conjunto de associações de variáveis (Modo R) encontra-se dividido em dois grandes grupos (Figura 4.5):

- O primeiro grupo é constituído pelas variáveis Zr, Rb, K, Ga, Al, Na, Ca e Sr e que se encontra subdividido em dois sub-grupos (a) Zr, Rb, K; e (b) Ga, Al, Na, Ca e Sr. A presença destes elementos pode ser justificada pela presença de anomalias típicas da parte meridional do Moçambique belt constituído de granulitos, gnaisses e leptinitos com lenticulas de metagabros, piroxenitos e serpentitos;
- O segundo grupo é constituído pelas variáveis Li, ETR, Th, As, Cs, U, Mg, Ni, Ta, Sn, Ba, Pb, Be, Mn, Nb, Ti, Y, Cr, Sc, Fe, V, Co, Ag, W, Zn, Cu, Mo. Este grupo se encontra subdividido em três sub-grupos: (a) Li; (b) ETR, Th, As, Cs, U, Mg, Ni; e (c) Ta, Sn, Ba, Pb, Be, Mn, Nb, Ti, Y, Cr, Sc, Fe, V, Co, Ag, W, Zn, Cu, Mo.

No segundo grupo, assim como no primeiro, aparentemente, os elementos se associam de acordo com a geologia do local que é caracterizada pela presença de xistos, pegmatitos com terras raras do tipo microclínico que se encaixam sobretudo em rochas intensamente metamorizadas formados por alguns minerais como turmalinas $(\text{Na,Ca})(\text{Li,Mg,Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+})_3(\text{Al,Fe}^{3+})_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$ - Berilo $(\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18})$ - Cassiterite (SnO_2) - Uraninite (UO_2) - Topázio $(\text{AlSiO}_4(\text{F,OH})_2)$ - Espodumena $(\text{LiAlSi}_2\text{O}_6)$ - Lepidolite $(\text{K}(\text{Li,Al})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2)$ - Autonite $(\text{Ca}(\text{NO}_2)(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$ - Tantalite $(\text{Fe,Mn})(\text{Ta,NO})_2\text{O}_6$ - Samarskite $(\text{Y,Ce,U,Ca,Pb})(\text{Nb,Ta,Tl,Sn})_2\text{O}_6$, etc.; e ainda pela presença de gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos.

Relativamente às associações de indivíduos na fração <2 mm (Figura 4.5), estes são claramente separados em dois grupos principais, ou seja, o grupo formado pelas amostras 8, 7, 4, 1 evidenciando uma contribuição do rio Monapo, e o grupo formado pelas amostras 6, 5, 3, 2 dos afluentes Muecate, Mugica e Mussimeti. A presença da amostra 2 no agrupamento dos afluentes do rio Monapo, pode estar relacionada com as características geológicas deste ponto, muito similares às do ponto 3 (presença de granitos leucocráticos, gnaisses biotíticos e migmatitos).

Na fração <0,180 mm as associações das variáveis (Modo R) evidenciam uma divisão em três grandes grupos (Figura 4.6):

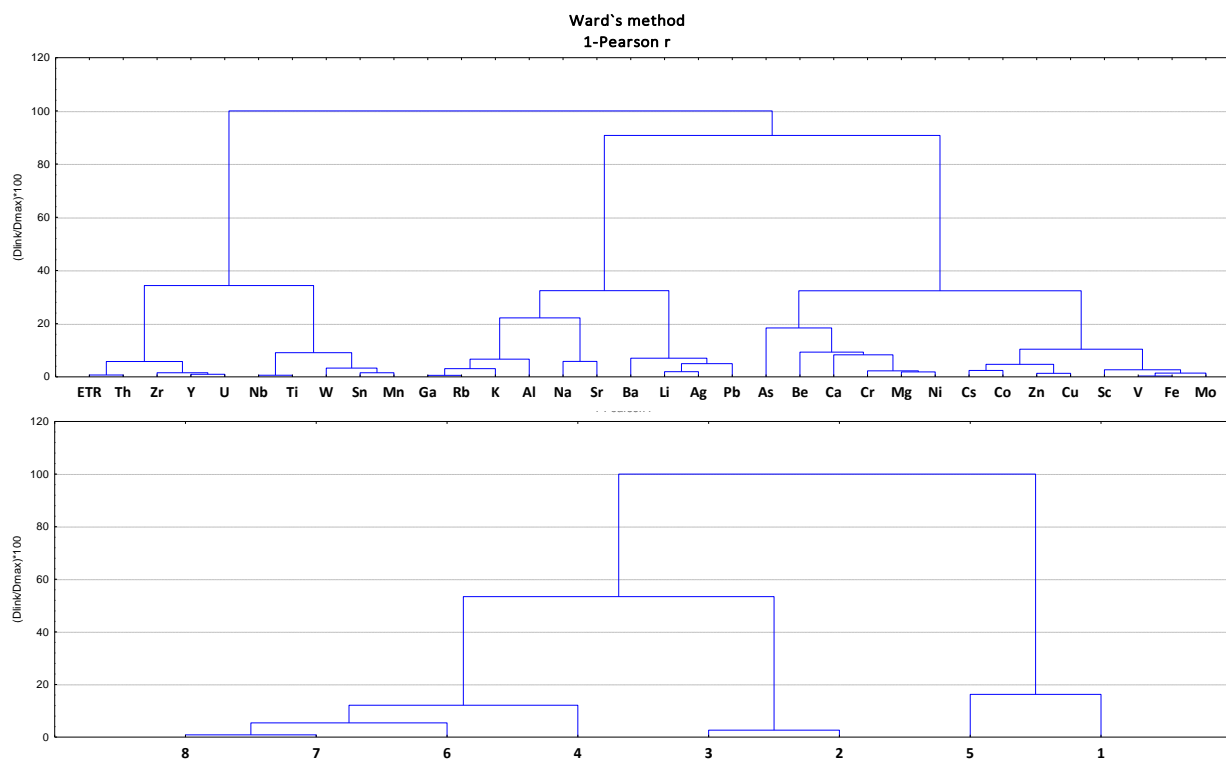


Figura 4.6 - Dendrograma resultante da aplicação da Classificação Hierárquica em Modo R e Modo Q dos dados relativos à fração <0,180 mm.

- O primeiro grupo é constituído pelas variáveis ETR, Th, Zr, Y, U, Nb, Ta, Ti, In, W, Sn, Mn. Este grupo está subdividido em dois subgrupos (a) ETR, Th, Zr, Y, U; e (b) Nb, Ta, Ti, In, W, Sn, Mn. A presença destes elementos neste grupo é justificada, principalmente, pela presença de granitos biotíticos do subgrupo de Nampula e aos pegmatitos graníticos;
- O segundo grupo é constituído pelas variáveis Ga, Rb, K, Al, Na, Sr, Ba, Li, Ag, Pb;
- O terceiro grupo é constituído pelas variáveis As, Be, Ca, Cr, Mg, Ni, Cs, Co, Zn, Cu, Sc, V, Fe, Mo. Este grupo subdivide-se em dois subgrupos (a) As, Be, Ca, Cr, Mg, Ni; e (b) Cs, Co, Zn, Cu, Sc, V, Fe, Mo.

Nos outros dois grupos, a presença e o agrupamento dos elementos à semelhança do verificado na fração <2 mm, os elementos associam-se de acordo com a geologia do local, caracterizada pela presença de pegmatitos com terras raras do tipo microclínico que se encaixam sobretudo em rochas

intensamente metamorizadas e ainda pela presença de gnaisses, migmatitos, charnokitos e granulitos.

Relativamente ao agrupamento de indivíduos (Figura 4.6), a análise de classificação hierárquica separa claramente as amostras 8, 7, 6, 4 das amostras 5, 3, 2, 1. Este agrupamento parece ser controlado pela proximidade entre as amostras, ou seja, um grupo formado pelas amostras mais a montante e outro grupo constituídos por amostras mais a jusante no rio principal.

4.2 Águas de Superfície

4.2.1 Análise estatística univariada

A matriz de dados resultantes da campanha de colheita de amostras de água de superfície é constituída por 8 amostras e 29 variáveis (Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, SO₄, Th, Tl, U, V, Zn, e as variáveis físico-químicas condutividade elétrica, pH). As variáveis Al, Ag, Be, Pb, Se, Sb, Th e Zn não foram consideradas no estudo por apresentarem todos os valores de concentração abaixo do limite de deteção. Os dados originais das análises realizadas nas amostras de águas são apresentados no Anexo 3 e uma descrição individual de cada encontra-se no capítulo seguinte, mais concretamente no subcapítulo 5.2.

A tabela 4.10 apresenta os parâmetros estatísticos calculados a partir das concentrações da componente dissolvida das variáveis em análise. Como parâmetros de localização central, são apresentados a média aritmética, a mediana e a moda. Como parâmetros de dispersão, são apresentados o desvio padrão e o valor dos percentis 25 e 75.

Tabela 4.10 - Estatística descritiva no conjunto dos dados analíticos (8 amostras/ teores na componente dissolvida das 21 variáveis em análise). As variáveis são expressas em $\mu\text{g L}^{-1}$ com exceção das variáveis Fe, Ca, P, Mg, Al, Na, K e SO₄, expressas em mg L^{-1} .

	Mínimo	P ₂₅	Média	Mediana	P ₇₅	Máximo	D.P.	Assimetria	Curtose
pH	7,8	8,0	8,0	8,0	8,1	8,1	0,09	-1,30	2,57
Cond	168,0	533,8	499,4	547,5	556,5	563,0	134,71	-2,76	7,71
Cl	16,7	35,6	34,0	36,5	37,0	38,7	7,18	-2,58	6,89
SO ₄	0,3	19,1	17,3	19,6	20,2	20,5	6,90	-2,79	7,84
Na	17,0	57,2	53,1	58,0	58,7	59,9	14,61	-2,80	7,89
K	2,7	3,9	3,8	3,9	3,9	4,1	0,46	-2,64	7,29
Mg	3,6	20,6	18,8	20,9	21,1	21,7	6,15	-2,81	7,91
Ca	9,8	24,2	22,7	24,5	24,7	25,6	5,26	-2,78	7,82
As	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,05	-2,22	5,51
Ba	26,9	60,1	58,6	62,5	64,0	67,9	13,07	-2,59	7,04
Cd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	1,45	2,85
Co	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	-2,75	7,68
Cr	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,02	-1,96	4,78
Cu	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	0,16	1,96	4,58
Fe	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	2,1	0,58	2,14	4,33
Mn	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,04	0,69	-0,95
Mo	0,3	1,9	1,8	1,9	2,0	2,0	0,57	-2,80	7,90
Ni	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,08	-1,47	1,52
Tl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-1,51	0,95
U	0,0	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,31	-2,49	6,70
V	0,2	2,7	3,2	3,7	4,0	4,2	1,33	-1,90	3,83

No caso dos resultados das análises das amostras de águas constata-se que a maioria das amostras em estudo apresenta uma distribuição assimetria negativa com exceção das variáveis Cd, Cu e Fe.

4.2.2 Análise estatística bivariada

A estatística descritiva bivariada tem como objetivo descrever a variação conjunta de pares de variáveis, para isso procedeu-se ao cálculo da matriz de correlação para um nível de significância de 95%. Na tabela 4.11 apresentam-se os resultados para os pares de variáveis cujo coeficiente de correlação é superior a 0,7. A matriz de correlações encontra-se no Anexo 7.

Tabela 4.11 - Correlações consideradas significativas ($>|0,7|$) para os parâmetros físico-químicos e os elementos maiores e vestigiais nas águas (correlações positivas a preto e negativas a vermelho).

Coeficientes	Pares
1,00	Ca/SO ₄ , Ca/Na, Ca/Mg, Co/Na, Co/Mg, Mo/SO ₄ , Mo/Na, Mo/Mg, SO₄/Th, Be/Na, Be/Mg, Be/Ca, Be/Mo, Be/Th, Na/Th, Mg/Th, Ca/Th, Mo/Th
0,99-0,95	Co/ SO ₄ , Mo/K, Ba/Na, Ba/Mg, Ba/K, Ba/Ca, Cl ⁻ /Cond, SO ₄ /Cond, Na/Cond, Mg/Cond, K/Cond, Ca/Cond, Co/Cond, Mo/Cond, Na/Cl ⁻ , Mg/Cl ⁻ , K/SO ₄ , Ca/Cl ⁻ , Co/Cl ⁻ , Co/K, Ba/Mo, Ba/Cond, K/Cl ⁻ , Ba/Cl ⁻ , Ba/SO ₄ , Ba/Co, U/Na, U/Mg, Cr/K, Ba/V, U/Cond, Cr/ Cl ⁻ , As/ SO ₄ , Ba/Cr, U/ Cl ⁻ , U/ SO ₄ , Cr/Cond, Be/Cl, Cl/Th, Be/SO₄, Be/K, Be/Co, Be/Ba, Be/U, Be/Cond, Fe/Ba, Co/Th, Ba/Th, Th/U, Th/Cond
0,94-0,91	Mo/As, As/Na, As/Mg, As/Ca, As/Co, Cr/Na, Cr/Mg, Mo/Cr, U/V, Cr/Ca, Fe/Be, As/K, Ba/As, Th/Fe, U/As, As/pH, V/Na, V/Mg, V/K, As/Cond, Fe/SO₄, Be/Cr, Be/As, Na/Fe, Mg/Fe, Ca/Fe, Cr/Th, Fe/Co, Fe/Mo, Fe/U, As/Th
0,90-0,80	V/ Cl ⁻ , V/Cond, Mo/V, Co/V, V/SO ₄ , Cr/V, Cd/Mn, Na/Cl ⁻ , Co/pH, Ni/Cond, U/Cr, U/Tl, SO ₄ /pH, Na/pH, Ni/K, Mg/pH, Ca/pH, Mo/pH, Ni/Na, Ni/Mg, As/Cr, Ni/Cr, Ni/Ca, pH/Cond, U/pH, K/pH, Cond/pH, Mo/Ni, Cl ⁻ /pH, Tl/pH, Tl/Na, U/Ni, Ba/pH, Cl/Fe, Be/V, Be/Ni, Be/pH, V/Fe, V/Th, Fe/As, Fe/Ba, Fe/Cond, Fe/pH, Ni/Th, Th/pH
0,79-0,70	Ni/ SO ₄ , Tl/Ca, Tl/Co, Tl/As, Ni/pH, Tl/ SO ₄ , Tl/K, Tl/Ba, Tl/Cond, As/Ni, Be/Tl, Cr/Fe, Fe/Ni, Tl/Th

4.2.3 Análise estatística por Classificação Hierárquica Ascendente

De modo a identificar a existência de similaridades nos parâmetros, foi feita uma análise de dados por análise multivariada por classificação hierárquica ascendente, usando o método de agrupamento e tomando como medida de distância o coeficiente de correlação de Pearson.

Na figura 4.7 apresenta-se o dendrograma da análise hierárquica para o modo R e modo Q, respetivamente.

Relativamente à análise em modo R (Figura 4.7) observa-se que as variáveis estão organizadas em dois grandes agrupamentos (a) o primeiro grupo é constituído pelas variáveis Cd, Cu, Fe, Mn e Pb, que mostra uma associação de elementos metálicos cujos teores são dos mais baixos; (b) o segundo grupo é constituído pelas variáveis As, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, K, Mg, Mo, Na, Ni, SO₄, Tl, V, pH e Condutividade. Este grupo evidencia mais o contributo dos elementos maiores e o seu controlo nos parâmetros físico-químicos, nomeadamente na condutividade.

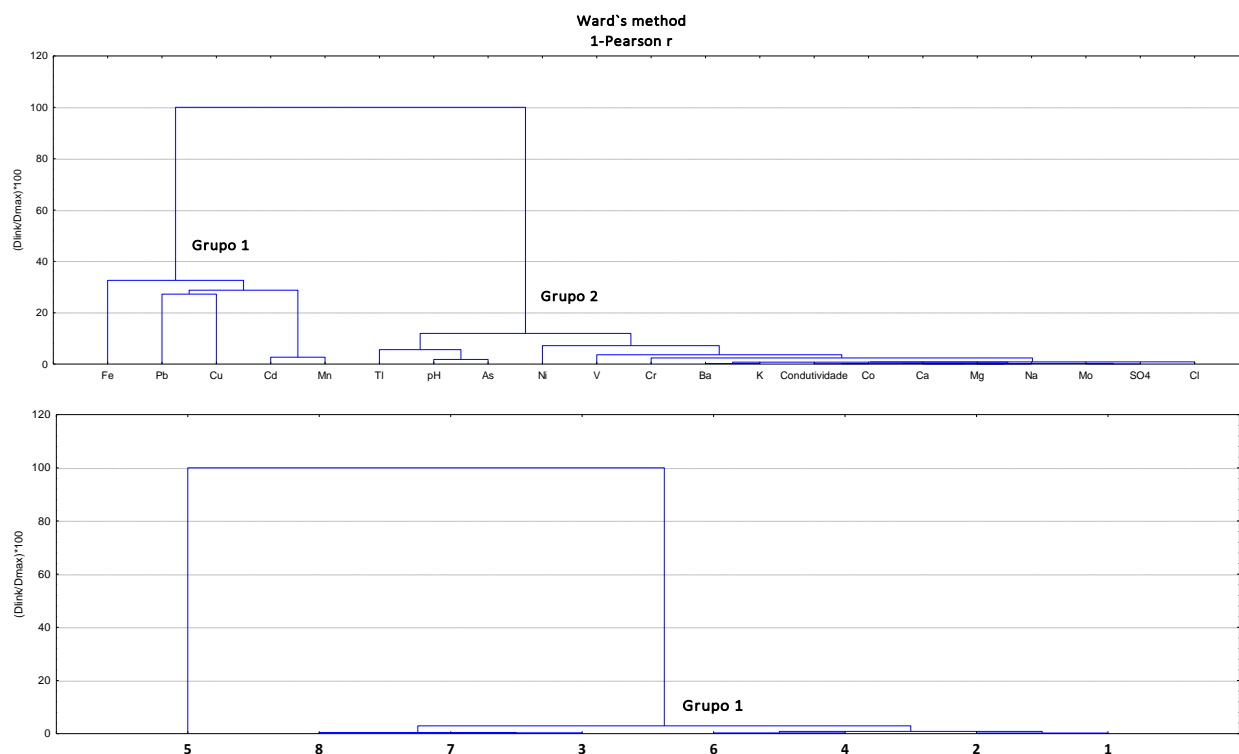


Figura 4.7 - Dendrograma resultante da aplicação da Classificação Hierárquica Ascendente em Modo R e Modo Q das variáveis relativas à análise de águas de superfície.

Os resultados da análise hierárquica em Modo Q (Figura 4.7) evidenciam a existência de 2 grupos, onde no primeiro grupo há uma subdivisão entre as amostras 1, 2, 4 e 6 e entre as amostras 3, 7 e 8. A amostra 5 apresenta características distintas das restantes amostras.

4.2.4 Tipologia e classificação das águas de superfície

A classificação das águas em termos da concentração dos iões maiores, foi feita com base no diagrama triangular de Piper (Piper, 1944) elaborado a partir dos dados analíticos de todos os pontos de amostragem. Uma vez que não foi possível a determinação dos bicarbonatos num período curto de tempo, tal como se exige dada a sua rápida conversão noutras espécies, o valor de HCO_3^- , necessário para a projeção no diagrama de Piper, foi calculado com base no balanço iónico dos catiões e aniões maiores de acordo com as equações referidas por Custódio e Lamas (1976).

Da análise do diagrama de Piper (Figura 4.8) as águas da bacia hidrográfica do rio Monapo podem ser classificadas como águas bicarbonatadas cálcicas-magnesianas (amostras 1, 2, 3, 4, 6 e 7) e sódicas (amostra 5).

Os diagramas de Stiff (Stiff, 1951) são diagramas utilizados para a projeção, por oposição dos catiões em relação aos aniões, maioritários em águas naturais. Esta projeção, complementar à projeção de Piper, dá uma boa indicação da distribuição iónica nas águas, permitindo ainda ter uma perceção do balanço entre catiões e aniões em cada amostra.

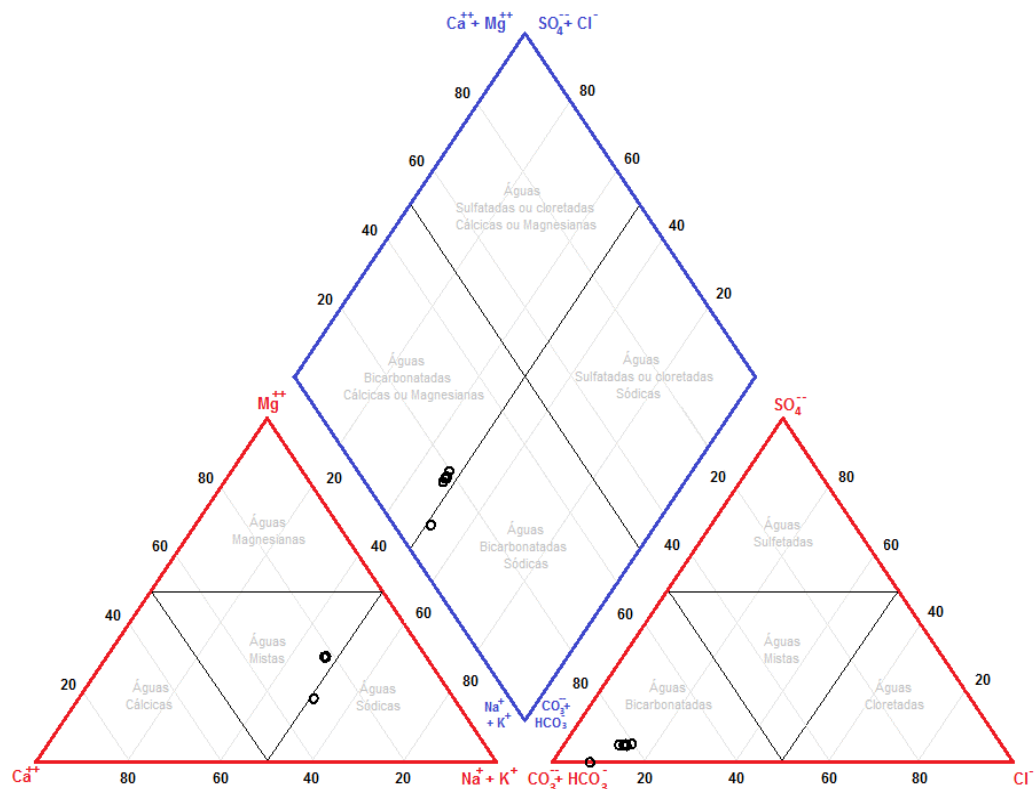


Figura 4.8 – Projeção das amostras de água no diagrama de Piper e respetiva classificação de acordo com a abundância dos iões maiores em águas.

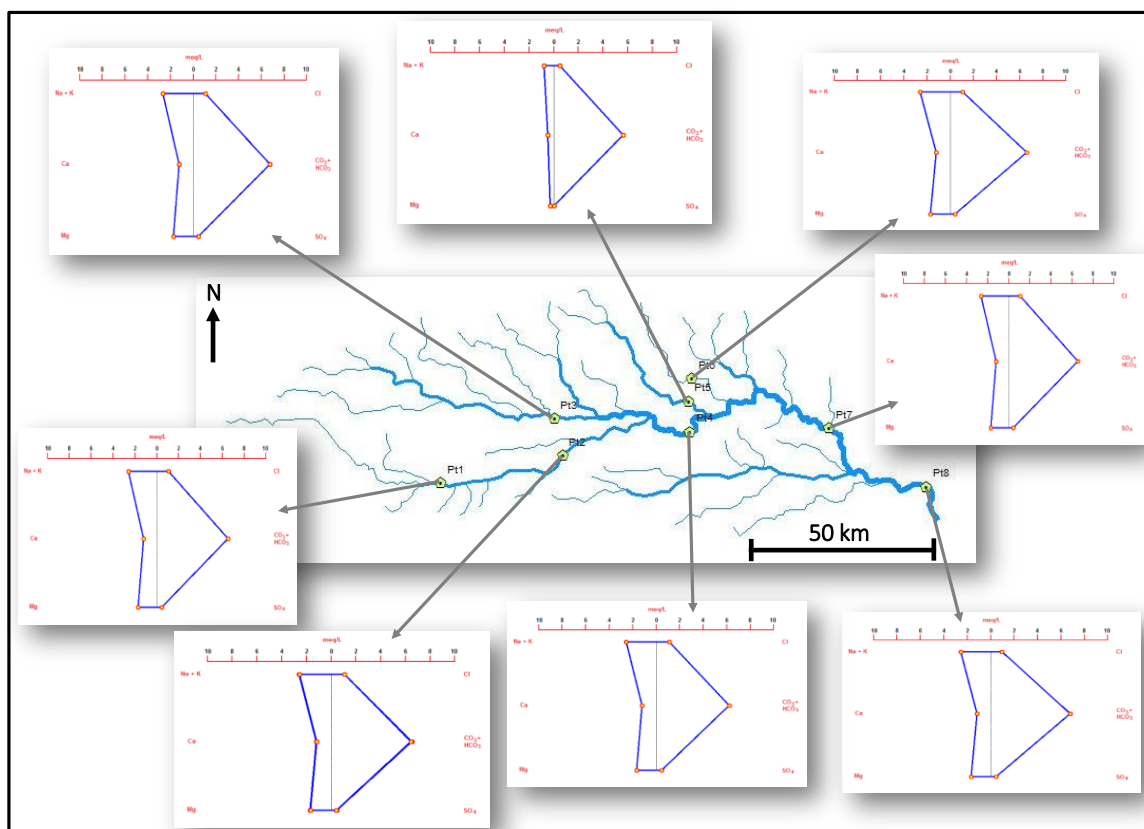


Figura 4.9 – Distribuição espacial das amostras de água de acordo com a projeção Stiff.

Da representação espacial das amostras de água nos diagramas de Stiff (Figura 4.9) é possível verificar a dominância do anião HCO_3^- nestas águas e a prevalência do catião Na^+ , reforçando assim a ideia da grande similaridade das águas em relação à sua tipologia. Este facto também corrobora a existência de padrões similares no conteúdo inorgânico dos sedimentos ao longo do perfil, visto que águas com características muito similares no conteúdo iónico e no pH (valores de pH alcalinos, devido à existência de concentrações consideráveis de bicarbonato) também não favorecem mudanças significativas nas condições de dissolução/precipitação.

5 SÍNTESE DESCRITIVA DOS DADOS GEOQUÍMICOS

Este capítulo pretende ter um papel fundamentalmente consultivo para suporte da abordagem global anteriormente efetuada no capítulo 4, relativamente aos dados geoquímicos dos sedimentos e das águas.

5.1 Sedimentos de Corrente

Prata (Ag)

Na figura 5.1 apresenta-se o diagrama de extremos e quartis da Ag e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. A observação da tabela 4.2 e 4.3, assim como da figura 5.1a, mostra que se trata de uma distribuição do tipo unimodal e assimétrica positiva. Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Ag superiores às da fração <2 mm. Verifica-se que os valores da mediana da fração <0,180 mm são 2,7 vezes superiores aos da fração <2 mm.

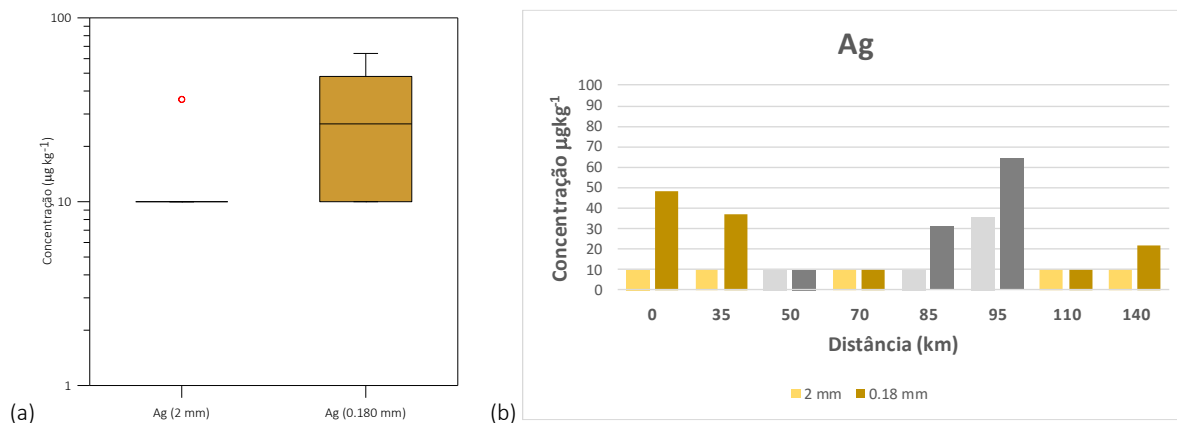


Figura 5.1 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ag; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise das variações das concentrações da variável Ag com a distância, e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações, verifica-se que para ambas as frações as concentrações elevadas deste elemento ocorrem no ponto 6 ($0,064 \text{ mg kg}^{-1}$). No ponto 4, registam-se valores relativamente inferiores como resultado da diluição influenciada pelo afluente Muecate. Verifica-se, também, que os dois afluentes Mugica e Mussimeti são responsáveis pelo aumento das concentrações em Ag nos sedimentos do rio Monapo a jusante destes pontos. Para este elemento, as concentrações estão abaixo do limite de deteção em 87,5% das amostras na fração <2 mm e em 37,5% das amostras na fração 0,180 mm. De acordo com os valores de referência ($0,08 \text{ mg kg}^{-1}$), propostos por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações de Ag baixas. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) a Ag está abaixo do valor de TEC.

Alumínio (Al)

A figura 5.2 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Al e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da análise dos resultados das tabelas 4.2 e 4.3 e figura 5.2a verifica-se que se trata de uma distribuição unimodal, sendo assimétrica negativa para a fração <2 mm, assimétrica positiva para a fração <180 μm . Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Al superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 2,57 e 5,93% na fração <2 mm e entre 5,83 e 7,61% para a fração <0,180 mm. Verifica-se ainda que o valor da mediana da fração <0,180 mm é 1,6 vezes superior ao da fração <2 mm.

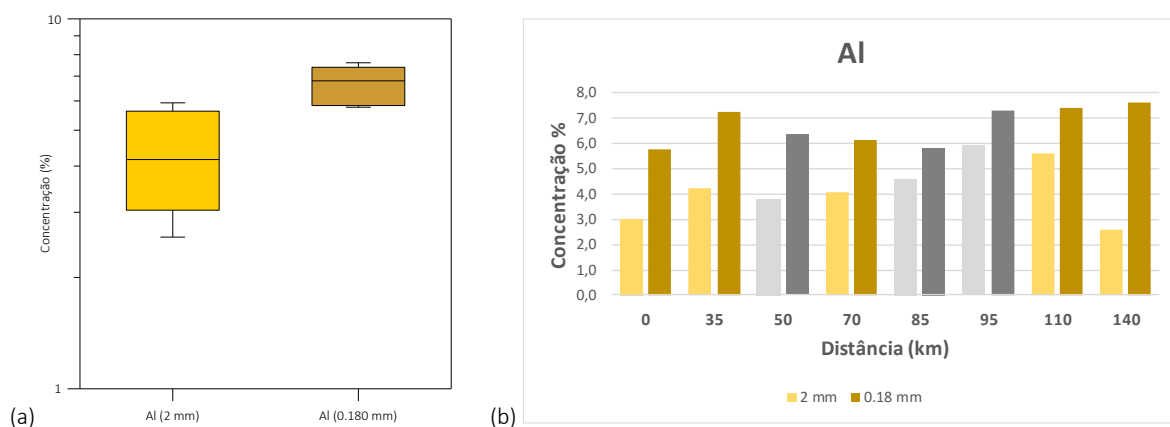


Figura 5.2 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Al; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise das variações das concentrações do Al com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações, verifica-se que nas duas frações as concentrações elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 8 (7,61%). Verifica-se que os afluentes contribuem significativamente para o aumento das concentrações de Al ao longo do rio Monapo. De acordo com os valores de referência (8,8 %), propostos por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de Al dentro dos valores estabelecidos como usuais para zonas não contaminadas.

Arsénio (As)

A figura 5.3 apresenta o diagrama de extremos e quartis do As e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Este elemento apresenta uma distribuição unimodal e assimétrica (Tabelas 4.2 e 4.3; Figura 5.3a). Os valores registados nas amostras variaram entre 0,1 e 0,9 mg kg^{-1} . Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em As superiores às da fração <2 mm. Verifica-se ainda que o valor da mediana para os dados relativos à fração <0,180mm é 2,8 vezes superior ao da fração <2 mm.

Da análise das variações das concentrações do As ao longo do perfil do rio e dos seus afluentes, verifica-se que as concentrações elevadas deste elemento estão localizadas nos pontos 4 e 5 (0,9 mg kg^{-1}) para as duas frações granulométricas.

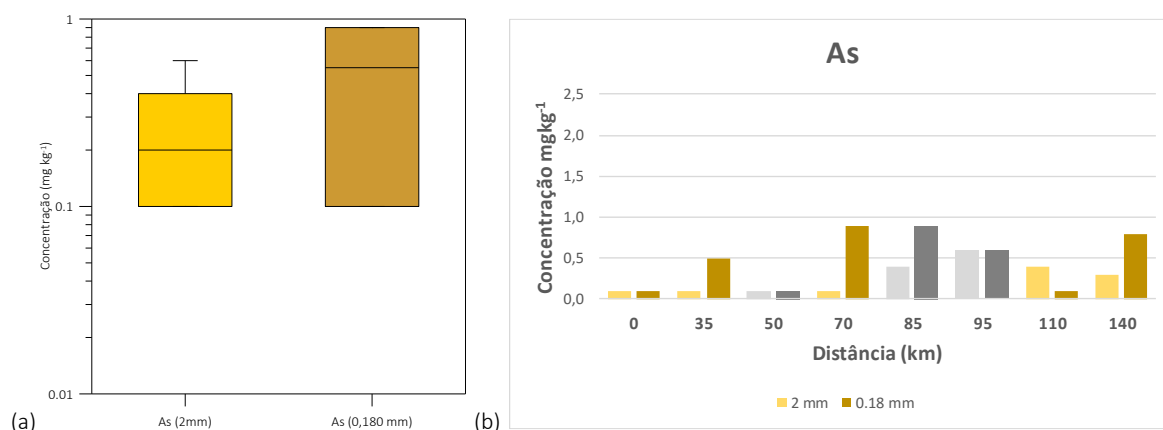


Figura 5.3 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável As; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Para este elemento, na fração de <2 mm, os teores deste elemento encontram-se abaixo do limite de deteção em 50% das amostras, enquanto na fração <0,180mm, esta situação é observada em 37,5% das amostras. De acordo com os valores de referência (2 mg kg⁻¹) propostos por Reimann & Caritat (1998), constata-se que as amostras de sedimentos apresentam baixas concentrações de As. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o As está abaixo do valor de TEC.

Bário (Ba)

A figura 5.4 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Ba e a variação dos teores ao longo do perfil do rio Monapo e seus afluentes. Da análise da figura 5.4a e complementarmente das tabelas 4.2 e 4.3 verificar-se que as amostras de sedimentos apresentam uma distribuição amodal assimétrica. Os teores de Ba na fração <0,180 mm (548 e 938 mg kg⁻¹) são superiores aos teores da fração <2 mm (427 e 925 mg kg⁻¹), mas essa diferença não é muito marcante (valor da mediana para os dados relativos à fração <0,180 mm é 1,5 vezes superior ao da fração <2 mm).

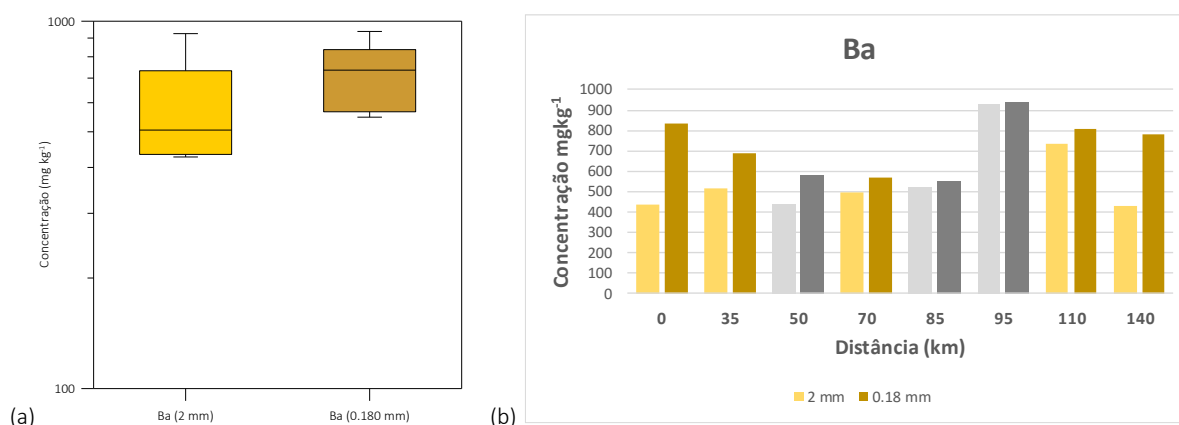


Figura 5.4 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ba; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Ao longo do perfil amostrado não se verifica uma tendência expressiva na variação das concentrações de Ba, sendo no ponto 6 (938 mg kg⁻¹) que as concentrações determinadas são as

mais elevadas e muito similares para as duas frações granulométricas. Os afluentes parecem contribuir significativamente para o aumento das concentrações de Ba ao longo do rio Monapo. Apesar de os teores de Ba não serem extremamente elevados, estes ultrapassam ligeiramente os valores da mediana (490 mg kg^{-1}) propostos por Reimann & Caritat (1998) para sedimentos não contaminados.

Bismuto (Bi)

A figura 5.5 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Bi e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da análise das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.5a pode verificar-se o Bi apresenta uma distribuição unimodal assimétrica positiva. Apesar do valor da mediana para os dados relativos à fração $<0,180 \text{ mm}$ ser 2,5 vezes superior ao da fração $<2 \text{ mm}$, as diferenças de concentrações entre as duas frações não são muito significativas entre $0,02$ e $0,04 \text{ mg kg}^{-1}$ na fração $<2 \text{ mm}$ e entre $0,02$ e $0,08 \text{ mg kg}^{-1}$ para a fração $<0,180 \text{ mm}$.

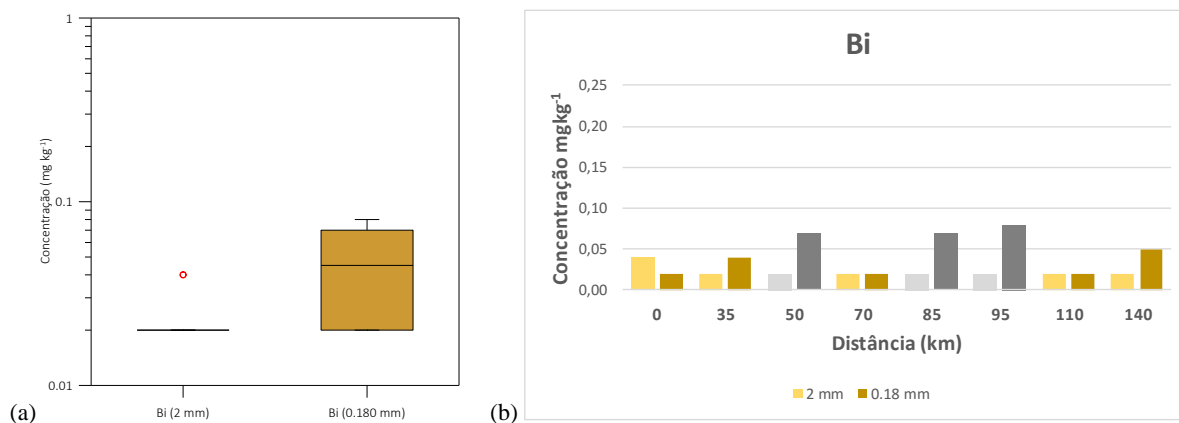


Figura 5.5 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Bi; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração $<2 \text{ mm}$ e os mais escuros à fração $<0,180 \text{ mm}$).

A análise das variações das concentrações de Bi com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações, permite constatar que as concentrações mais elevadas deste elemento ocorrem nos pontos 3, 5 e 6, afluentes do Rio Monapo, e na fração $<0,180 \text{ mm}$. Na fração de $<2 \text{ mm}$, as concentrações em 87,5% das amostras estavam abaixo dos limites de deteção e na fração $<0,180 \text{ mm}$ esta situação é observada em 37,5% das amostras. Considerando os valores de referência para sedimentos (Reimann & Caritat, 1998), constata-se que os teores determinados são consideravelmente baixos.

Cálcio (Ca)

A figura 5.6 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Ca e a variação dos teores ao longo do perfil do rio Monapo e seus afluentes para as duas frações analisadas. Da análise dos resultados das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.6a verificar-se que a distribuição dos teores de Ca é assimétrica positiva, sendo amodal para a fração $<2 \text{ mm}$ e unimodal para a fração de $<180 \mu\text{m}$. Comparativamente verifica-se que a fração $<0,180 \text{ mm}$ apresenta concentrações em Ca ($1,33$ e

2,29 %) superiores às da fração <2 mm (0,42 e 1,47 %) Verifica-se ainda que o valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm é 2 vezes superior ao da fração <2 mm.

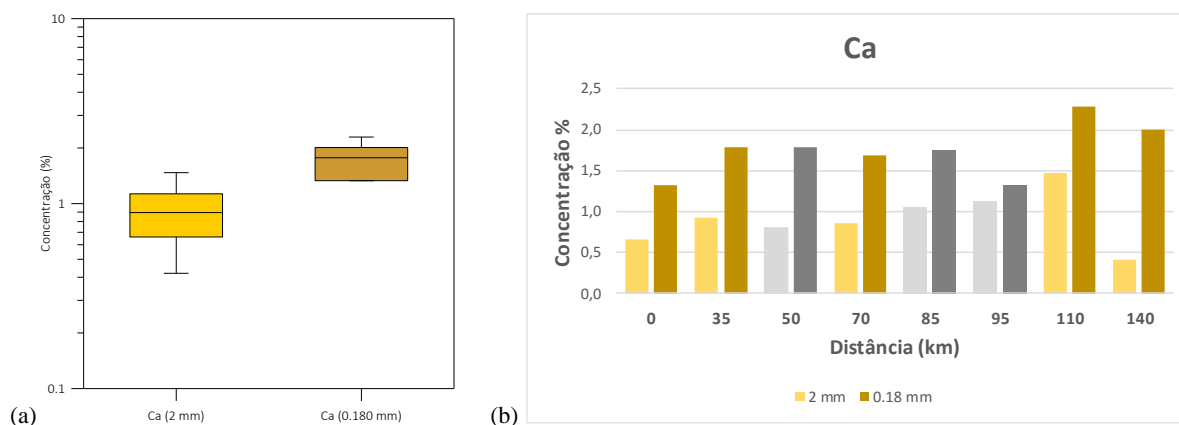


Figura 5.6 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ca; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

A análise da variação das concentrações de Ca ao longo do perfil permite verificar que os afluentes, Muecate e Mugica são responsáveis pelo aumento das concentrações em Ca nos sedimentos do rio Monapo a jusante dos seus pontos, sendo no ponto 7 (2,29%), para a fração <0,180 mm que os teores em Ca são mais elevados. De acordo com os valores de referência (1,29 %) estabelecidos por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações em média superiores a este valor, mas que se podem considerar dentro do intervalo de valores usuais para sedimentos.

Cádmio (Cd)

A figura 5.7 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Cd e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

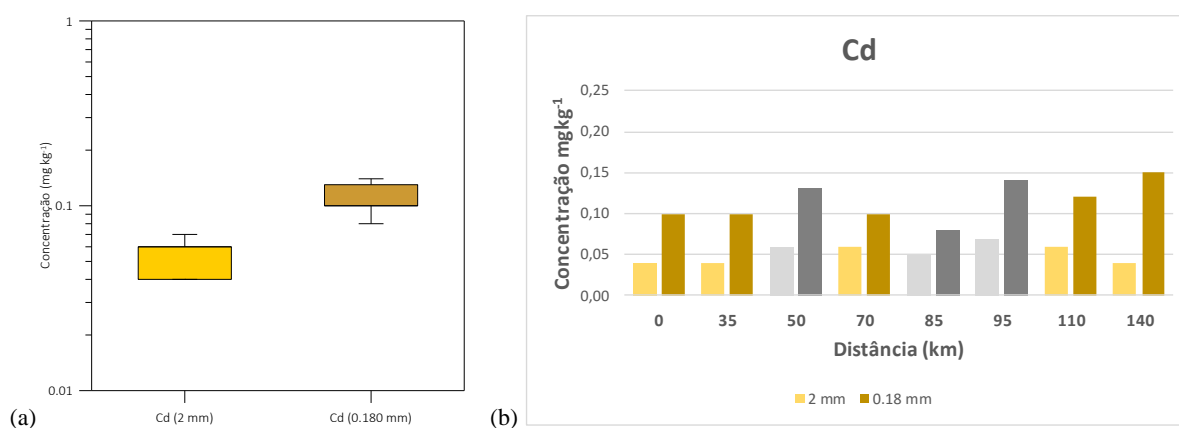


Figura 5.7 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cd; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise dos resultados das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.7a verificar-se que o Cd apresenta uma distribuição unimodal, sendo assimétrica positiva para a fração de <2 mm e assimétrica negativa

para a fração de <0,180 mm. Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Cd superiores às da fração <2 mm, as quais variam entre 0,08 e 0,15 mg kg⁻¹ e entre 0,04 e 0,07 mg kg⁻¹, respetivamente. Verifica-se, também, que o valor da mediana dos dados relativos à fração <0,180 mm é 1,8 vezes superior ao da fração <2 mm.

A variação das concentrações de Cd ao longo do perfil do rio Monapo são influenciadas pelos contributos dos seus afluentes, sendo na fração <0,180 mm do ponto 8 (0,15 mg kg⁻¹) que essas concentrações são mais elevadas.

Dado que não são indicados teores da mediana de Cd para a fração <0,180 mm por Reimann & Caritat (1998), foi considerado para comparação o valor de 1,8 mg kg⁻¹ indicado para sedimentos na fração <0,063 mm, pelo que se constata que todos os valores dos sedimentos amostrados encontram-se abaixo deste valor. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o Cd está abaixo do valor de TEC.

Cério (Ce)

A figura 5.8 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Ce.

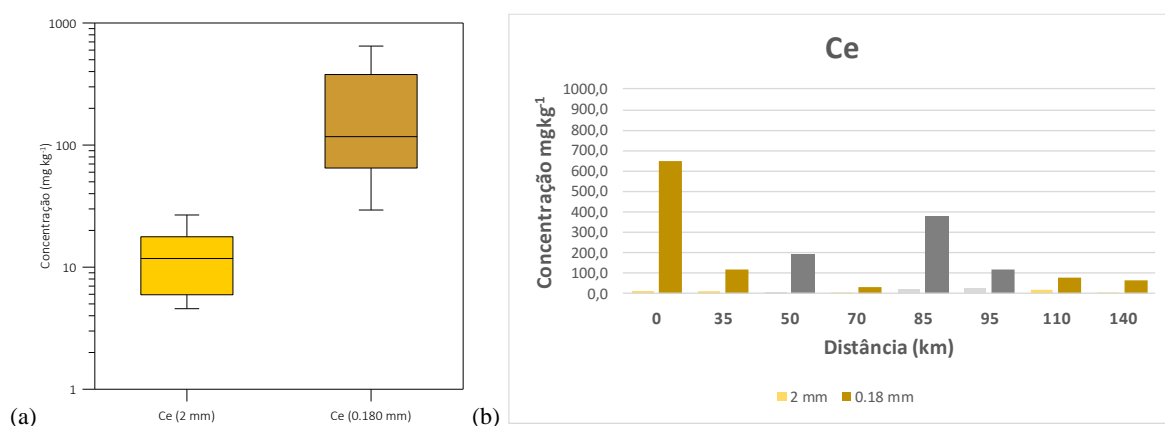


Figura 5.8 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ce e (b) a variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Da observação dos resultados da tabela 4.4 e da figura 5.8a verifica-se que se trata de uma distribuição do tipo multimodal assimétrica positiva. Observando o mapa de distribuição das concentrações de Ce (Figura 5.8b), verifica-se que de forma geral, as concentrações da fração <0,180 mm são muito superiores à da fração <2 mm, com tendência a uma redução com a aproximação à foz do rio Monapo. O ponto 1 apresenta as concentrações mais elevadas em Ce na fração <0,180 mm (649,99 mg kg⁻¹), sendo também de referir as concentrações obtidas nas amostras representativas dos pontos 3 e 5 (378,45 e 190,38 mg kg⁻¹, respetivamente). Na fração <2 mm as concentrações tendem a aumentar até o ponto 6 diminuindo de seguida até à foz. Reimann & Caritat (1998) propõem como valor médio de Ce para a fração <0,180 mm de amostras

de sedimentos de corrente 96 mg kg^{-1} , sendo que os valores obtidos nos sedimentos do rio Monapo e seus afluentes são significativamente elevados para as terras raras.

Cobalto (Co)

A figura 5.9 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Co e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

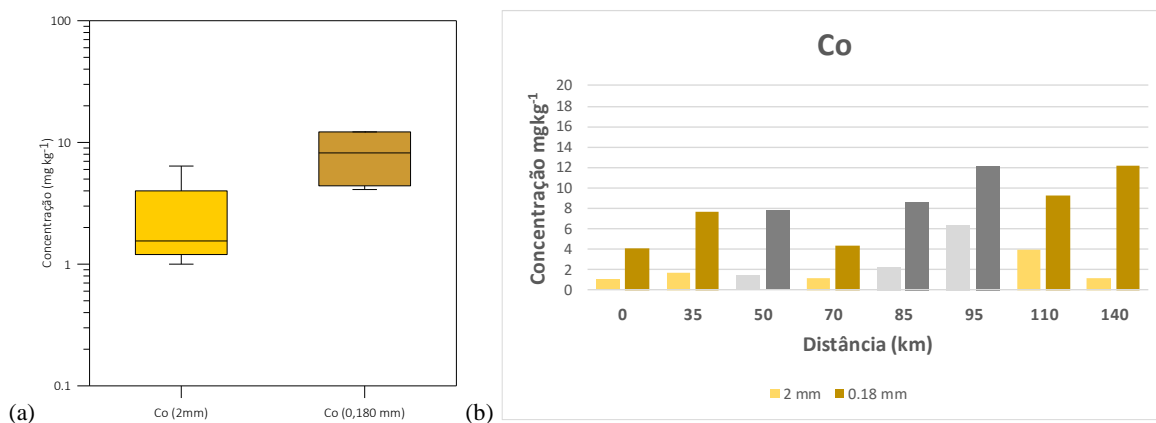


Figura 5.9 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Co; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise dos resultados das tabela 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.9a verifica-se que se trata de uma distribuição unimodal e assimétrica positiva. Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Co superiores às registadas na fração <2 mm. Os valores obtidos variaram entre 1,0 e $6,4 \text{ mg kg}^{-1}$ na fração <2 mm e entre 4,1 e $12,2 \text{ mg kg}^{-1}$ para a fração <0,180 mm, o que são consideravelmente mais baixos que os teores típicos de sedimentos não contaminados (15 mg kg^{-1} , para a fração <0,180 mm) apresentados por Reimann & Caritat (1998). Verifica-se ainda que o valor da mediana obtida para os dados relativos à fração <0,180 mm é 5,2 vezes superiores ao da fração <2 mm.

A análise da variação das concentrações de Co com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações, mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas estão associadas aos pontos 6 e 8 na fração <0,180 mm, enquanto para a fração <2 mm verifica-se maior concentração no ponto 6. Para este elemento parece que os três afluentes, Muecate, Mugica e Mussimeti contribuem para o aumento das concentrações em Co nos sedimentos do rio Monapo para jusante.

Crómio (Cr)

A figura 5.10 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Cr e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da análise da tabela 4.2 e 4.3, assim como da figura 5.10a verifica-se, que se trata de uma distribuição amodal, sendo a distribuição assimétrica positiva para a fração <2 mm e assimétrica negativa para a fração <0,180 mm. Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Cr superiores às da fração <2 mm.

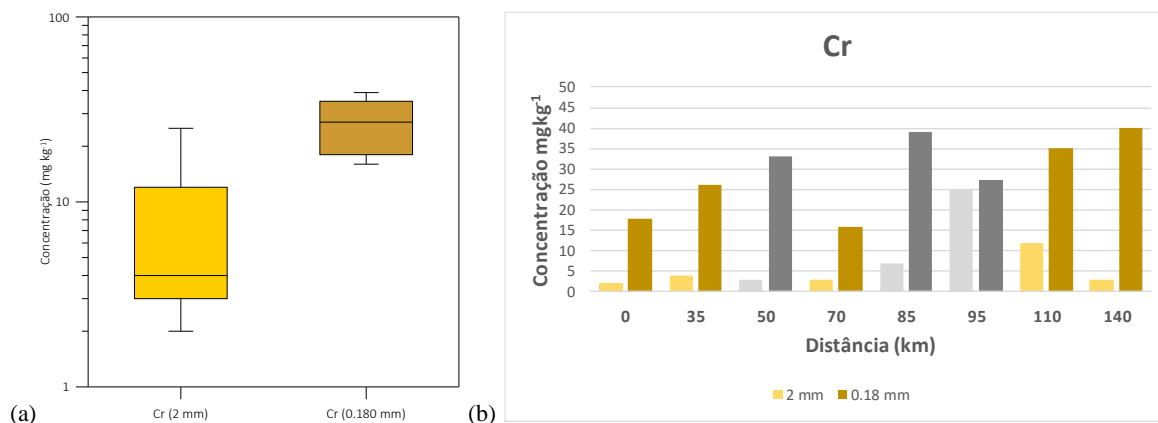


Figura 5.10 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cr; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Os valores registados variaram entre 2 e 25 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 16 e 40 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm, sendo o valor da mediana obtido para os dados da fração <0,180 mm 8,6 vezes superior ao obtido para a fração <2 mm.

A análise da variação das concentrações de Cr com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações, mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 8 (40 mg kg⁻¹), indiciando uma contribuição dos afluentes no aumento das concentrações de Cr ao longo do rio Monapo. De acordo com o valor de referência (64 mg kg⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta baixas concentrações de Cr. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o Cr está abaixo do valor de TEC.

Césio (Cs)

A figura 5.11 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Cs e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

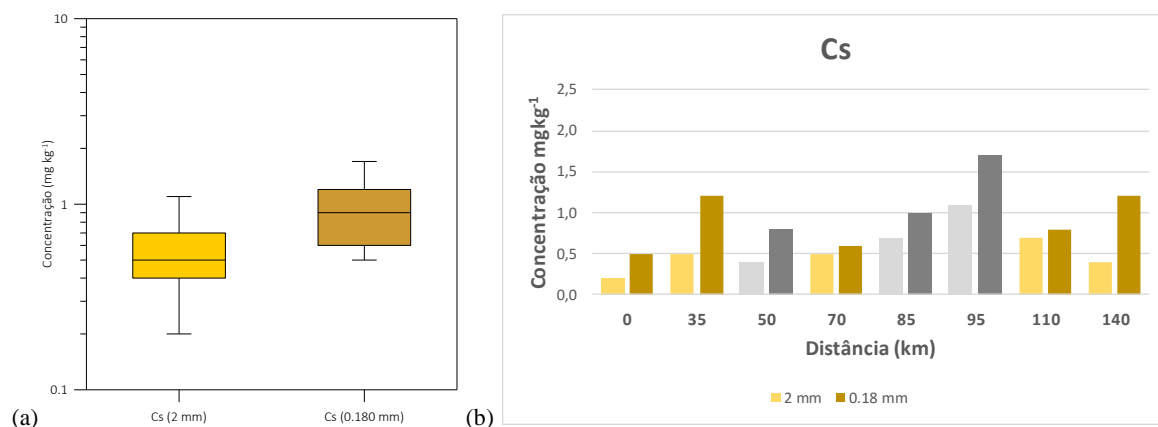


Figura 5.11 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cs; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise dos resultados da estatística univariada apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3 e figura 5.11a constata-se que se trata de uma distribuição do tipo unimodal assimétrica positiva. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Cs superiores às da fração <2 mm com uma mediana da fração <0,180 mm 1,8 vezes superior à da fração <2 mm. Os valores registados variam entre 0,2 e 1,1 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 0,5 e 1,2 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm, o que podem ser considerados baixos quando comparados com o valor da mediana de sedimentos de corrente (8,2 mg kg⁻¹; fração<0,063) indicados por Reimann & Caritat (1998).

Da análise das variações das concentrações da variável Cs com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações (Figura 5.11b), verifica-se que nas duas frações as concentrações elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 6.

Cobre (Cu)

A figura 5.12 apresenta o diagrama de extremos e quartis para o Cu, assim como a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

Da análise dos resultados das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.12a verifica-se que a distribuição é unimodal e assimétrica positiva. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Cu mais elevadas e uma mediana 4 vezes superior em relação à fração <2 mm.

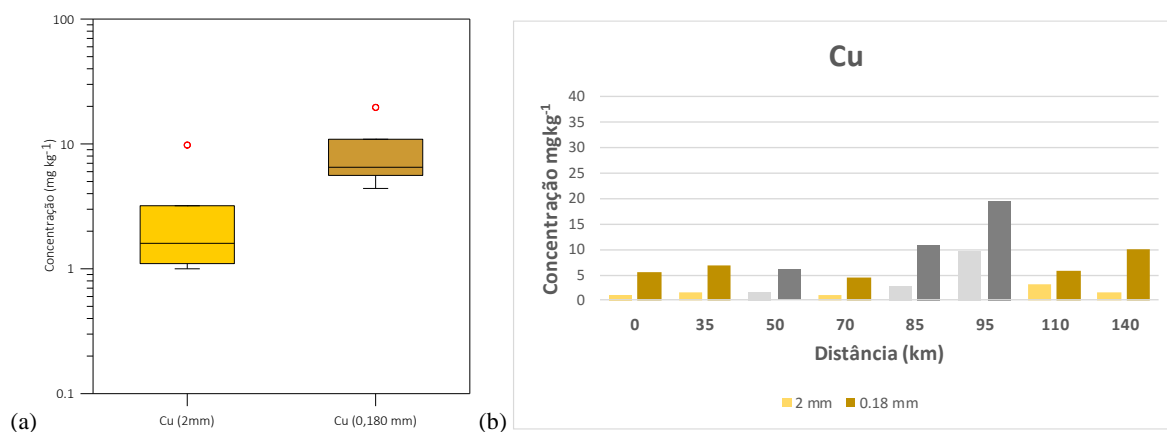


Figura 5.12 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cu; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Pela observação da figura 5.12b constata-se que nas duas frações as concentrações mais elevadas ocorrem no ponto 6, diminuindo gradualmente até ao ponto 8, onde ocorre ligeira subida na fração <0,180 mm. Os dois afluentes Mugica e Mussimeti parecem ser responsáveis pelo aumento das concentrações em Cu nos sedimentos do rio Monapo a jusante destes pontos. De acordo com o valor de referência (19 mg kg⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações de Cu relativamente baixas. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o Cu está abaixo do valor de TEC.

Disprósio (Dy)

A figura 5.13 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Dy.

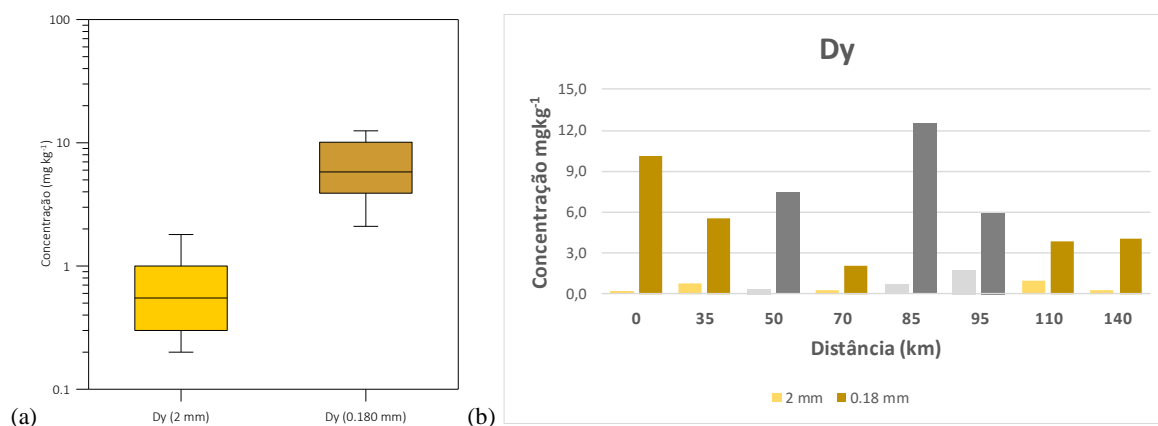


Figura 5.13 - Diagrama de extremos e quartis da variável Dy e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise dos resultados da tabela 4.6 e da figura 5.13a verifica-se que os dados apresentam uma distribuição do tipo assimétrica positiva, sendo unimodal para a fração <2 mm e multimodal para a fração 0,180 mm. Globalmente, não se observa uma tendência crescente ou decrescente das concentrações deste elemento com a distância (Figura 5.13b), registando-se os valores mais elevados na fração <0,180 mm. Nesta fração o valor mais elevado foi registado no ponto 5 (12,5 mg kg⁻¹) e a na fração <2mm, a concentração mais elevada foi obtida ponto 6 (1,8 mg kg⁻¹). Reimann & Caritat (1998) não indicam um valor de referência deste elemento para sedimentos de corrente, mas atendendo aos teores médios deste elemento na crosta (3,5 mg kg⁻¹), pode-se considerar que os teores encontra-se acima deste valor.

Érbio (Er)

A figura 5.14 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Er. De acordo com os resultados da tabela 4.6 e da figura 5.14a os dados, apresentam, em ambas as frações, uma distribuição do tipo unimodal com assimetria positiva.

A distribuição das concentrações de Er com a distância (Figura 5.14b), mostra um comportamento idêntico ao observado para os elementos Eu, Gd, Tb, Dy e Ho. A concentração mais elevada foi observada na fração <0,180 mm para o ponto 5 (4,0 mg kg⁻¹), enquanto para a fração <2 mm a maior concentração foi observada no ponto 6 (1,2 mg kg⁻¹).

Também para este ETR não é indicado um teor de referência para sedimentos de corrente por Reimann & Caritat (1998), mas atendendo aos teores médios deste elemento na crosta (2,3 mg kg⁻¹), pode-se considerar que os teores estão acima dos limites normais.

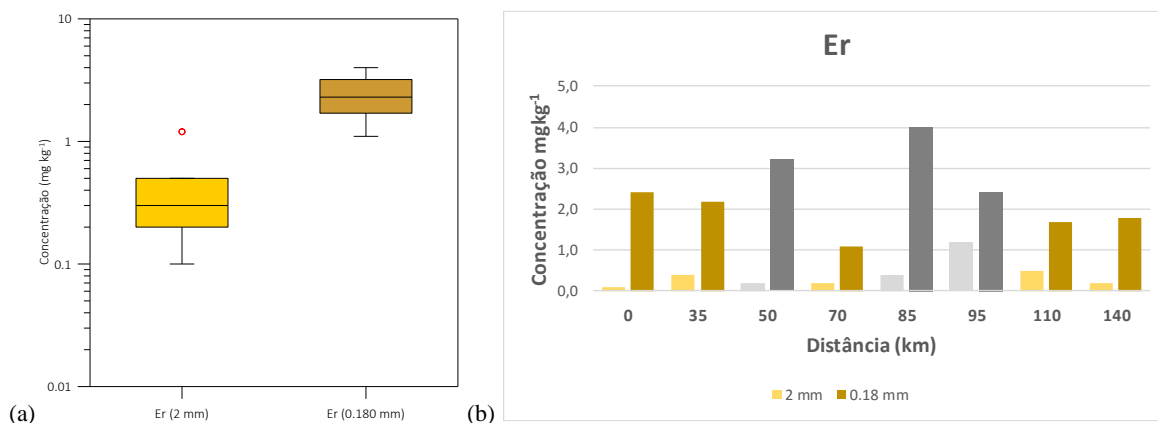


Figura 5.14 - Diagrama de extremos e quartis da variável Er e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Európio (Eu)

A figura 5.15 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Eu. Verifica-se da análise da tabela 4.6 e da figura 5.15a que os dados apresentam uma distribuição do tipo multimodal assimétrica negativa para a fração <2 mm e unimodal simétrica para a fração <0,180 mm.

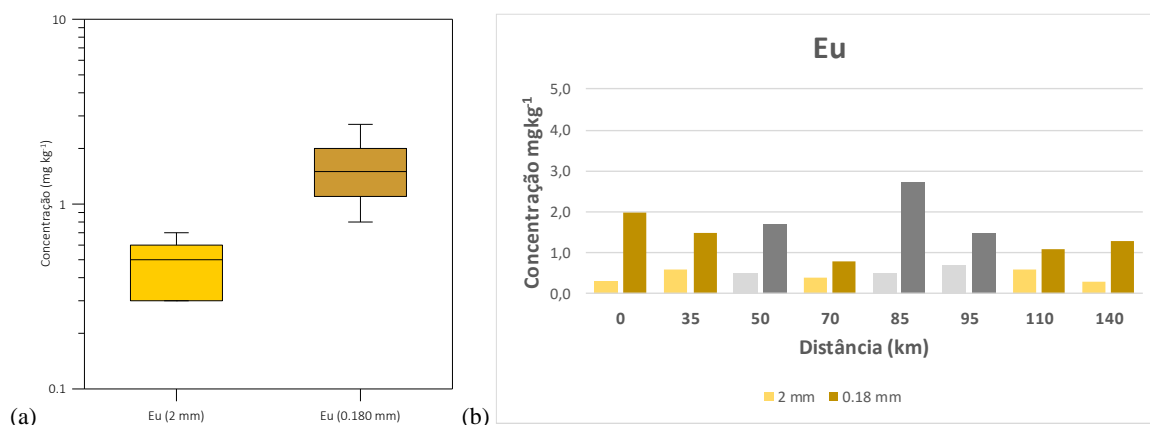


Figura 5.15 - Diagrama de extremos e quartis da variável Eu e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Observando a variação das concentrações do Eu com a distância (Figura 5.15b), verifica-se que a concentração mais elevada de Eu na fração <0,180 mm está associada ao ponto 5 (2,7 mg kg⁻¹) e na fração <2 mm, a concentração mais elevada foi observada no ponto 6 (0,6 mg kg⁻¹), apesar de todos os pontos apresentarem concentrações muito similares. À semelhança de outros ETR, Reimann & Caritat (1998) não é indicam um teor de referência para sedimentos de corrente. Atendendo aos teores médios deste elemento na crosta (0,95 mg kg⁻¹), pode-se considerar que os teores estão dentro dos teores usuais deste elemento.

Ferro (Fe)

A figura 5.16 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Fe e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da análise das tabelas 4.2 e 4.3, assim como da

observação da figura 5.16a, verifica-se que a distribuição é unimodal e assimétrica positiva. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Fe superiores às da fração <2 mm, com teores a variarem entre 1,05 e 3,45 mg kg⁻¹ e entre 0,21 e 1,76 mg kg⁻¹, respetivamente. Verifica-se também que o valor da mediana relativo à fração <0,180 mm é 6,5 vezes superior ao da fração <2 mm.

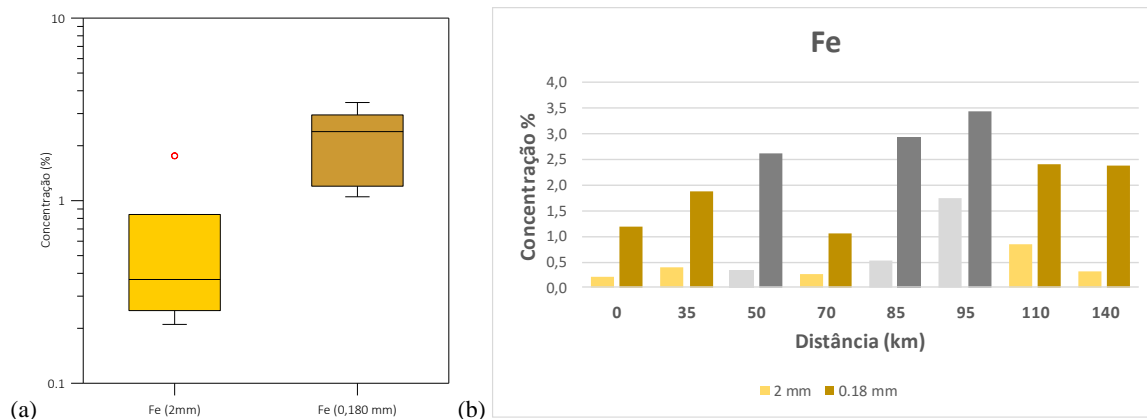


Figura 5.16 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Fe; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

A variação das concentrações de Fe com a distância, permite constatar que nas duas frações as concentrações elevadas deste elemento estão associadas ao ponto 6 (3,45 % na fração <0,180mm e 1,76 % na fração <2mm). Para este elemento verifica-se que os três afluentes, Muecate, Mugica e Mussimeti são responsáveis pelo aumento das concentrações em Fe nos sedimentos do rio Monapo. De acordo com o valor de referência de 3,72% proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de Fe baixas.

Gálio (Ga)

A figura 5.17 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Ga e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

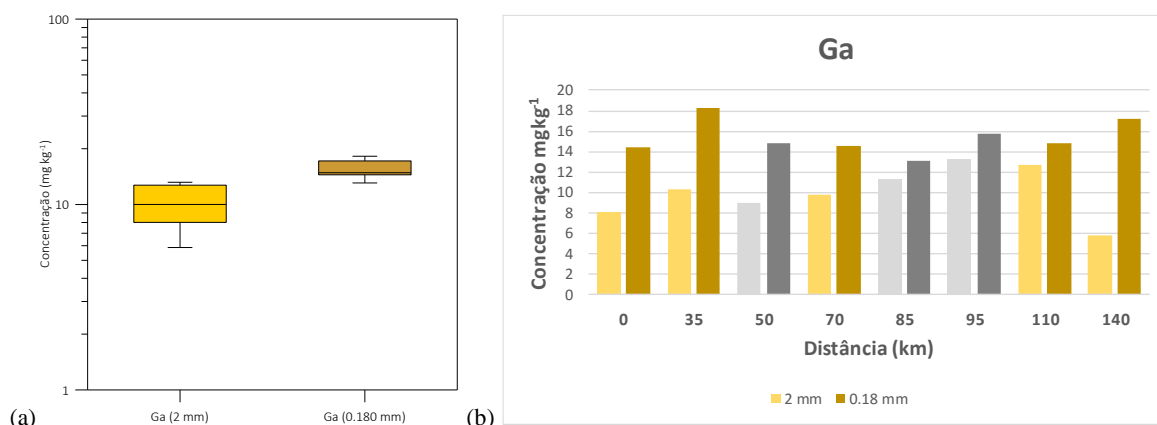


Figura 5.17 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ga; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Pelos dados constantes nas tabelas 4.2 e 4.3, assim como da figura 5.17a, verifica-se que se trata de uma distribuição amodal do tipo assimétrica negativa para a fração <2 mm e uma distribuição do tipo assimétrica positiva para a fração <0,180 mm.

A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Ga superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 5,9 e 13,2 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 13,1 e 18,2 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm, com um valor da mediana da 1,4 vezes superior na fração <0,180 mm em relação à fração <2 mm. Da análise das variações das concentrações do Ga com a distância (Figura 5.17b), verifica-se que nas duas frações as concentrações mais elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 2. Os afluentes parecem contribuir para o aumento das concentrações de Ga no rio Monapo a jusante desses pontos. De acordo com os valores de referência para sedimentos de corrente (21 mg kg⁻¹) indicados por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta baixas concentrações de Ga.

Gadolínio (Gd)

A figura 5.18 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Gd.

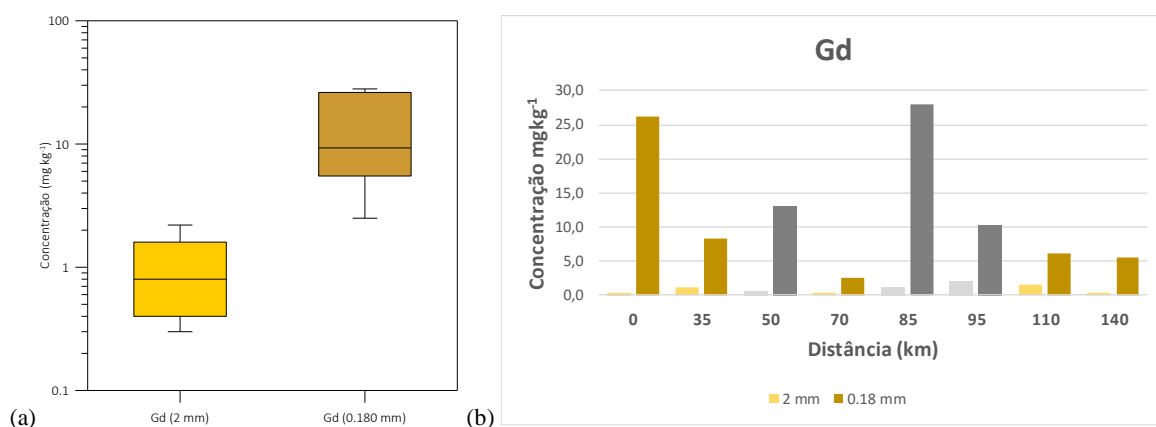


Figura 5.18 –(a) Diagrama de extremos e quartis da variável Gd e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da observação dos resultados da tabela 4.6 e da figura 5.18a, conclui-se que se trata de uma distribuição do tipo unimodal simétrica para a fração <2 mm e do tipo multimodal assimétrica positiva para a fração <0,180 mm. A variação das concentrações de Gd com a distância (Figura 5.18b) é idêntica ao de outros ETR, como o Ce e o Eu. As concentrações mais elevadas estão associadas à fração <0,180 mm, cujo valor mais elevado foi registado no ponto 5 (28,0 mg kg⁻¹). Na fração <2 mm o valor mais elevado foi observado no ponto 6 (2,2 mg kg⁻¹). Não é indicado um teor de referência para sedimentos de corrente por Reimann & Caritat (1998), mas atendendo aos teores médios deste elemento na crosta (3,8 mg kg⁻¹), pode-se considerar que os teores são consideravelmente superiores, principalmente na fração <0,180 mm.

Hólmio (Ho)

A figura 5.19 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Ho. De acordo com os resultados da tabela 4.4 e da figura 5.19a, os dados de ambas as frações apresentam uma distribuição do tipo unimodal com assimetria positiva.

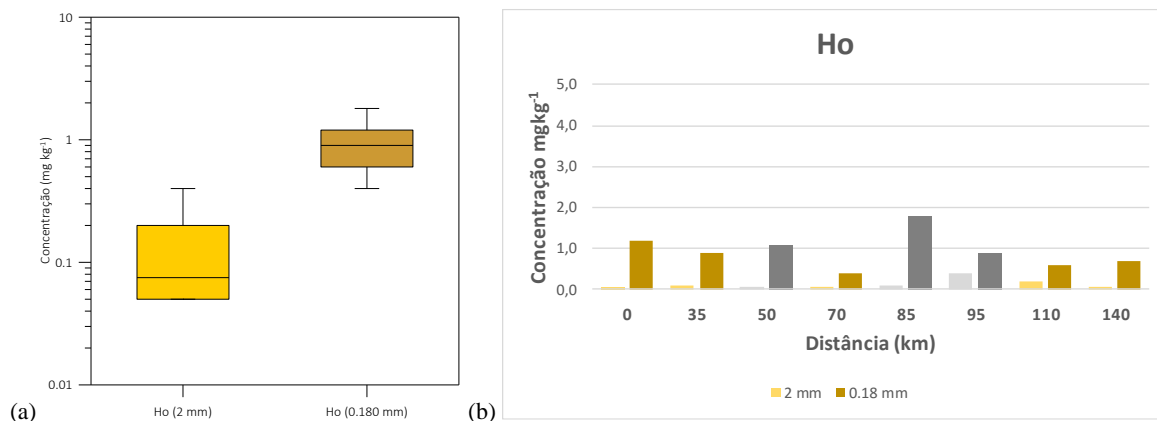


Figura 5.19 –(a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ho e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Observando a distribuição das concentrações de Ho com a distância (Figura 5.19b), verifica-se à semelhança de outras ETR (ex.: Eu, Gd) a concentração mais elevada de Ho foi observada na fração <0,180 mm, no ponto 5 (1,8 mg kg⁻¹), enquanto para a fração <2 mm, 50% das amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de deteção do método. Também para o Ho não é indicado um valor de referência para sedimentos de corrente por Reimann & Caritat (1998), mas atendendo aos teores médios deste elemento na crosta (0,8 mg kg⁻¹) pode-se considerar que os teores estão dentro dos limites normais para este elemento, excepto o ponto 5 que apresenta concentrações elevadas.

Potássio (K)

A figura 5.20 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável K e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da análise das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.20a, contata-se que o conjunto de dados apresenta uma distribuição assimétrica negativa sendo do tipo unimodal para a fração < 2 mm e amodal para a fração < 0,180 mm. Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em K superiores às da fração <2 mm, com teores a variarem entre 1,24 e 2,72% % na fração <2 mm e entre 1,74 e 2,98% para a fração <0,180 mm.

A análise da variação das concentrações de K com a distância, mostra que, nas duas frações, as concentrações elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 2.

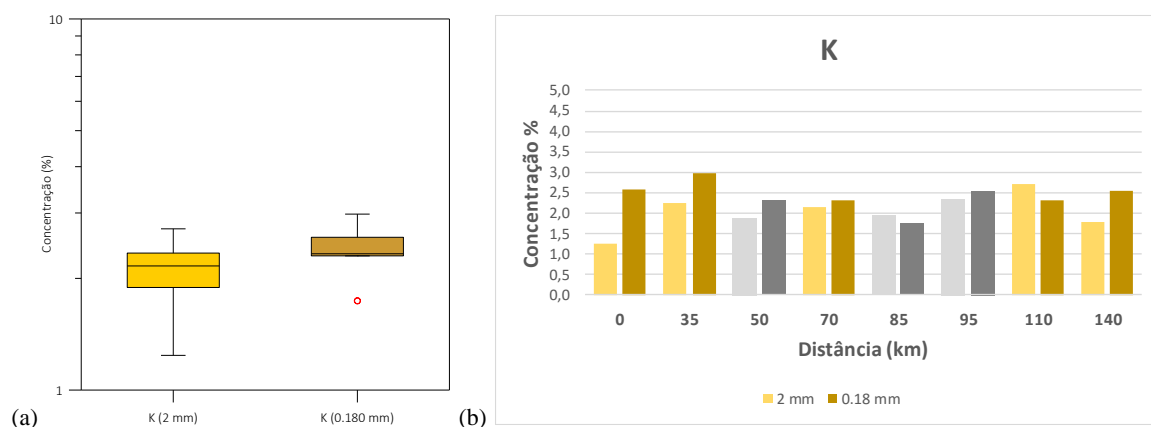


Figura 5.20 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável K; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Para esta a fração <2 mm este elemento apresenta concentrações maiores do que a fração <0,180 mm nos pontos 5 e 7. Os afluentes também parecem contribuir para o aumento das concentrações de K ao longo do rio Monapo. De acordo com o valor de referência para sedimentos de corrente (2,31%; fração <0,180 mm), proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de K abaixo ou próximas deste valor.

Lantânio (La)

N figura 5.21 apresenta-se o diagrama de extremos e quartis do La e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da observação das tabelas 4.6 e da figura 5.21a, verifica-se os dados deste elemento têm uma distribuição amodal assimétrica positiva. Comparativamente, a fração <0,180 mm apresenta concentrações em La superiores às da fração <2 mm, variando entre 12,2 e 310,3 mg kg⁻¹ e entre 2,3 e 12,6 mg kg⁻¹, respetivamente. Verifica-se ainda que o valor da mediana relativo às concentrações deste elemento na fração <0,180 mm é 10 vezes superior ao valor referente à fração <2 mm.

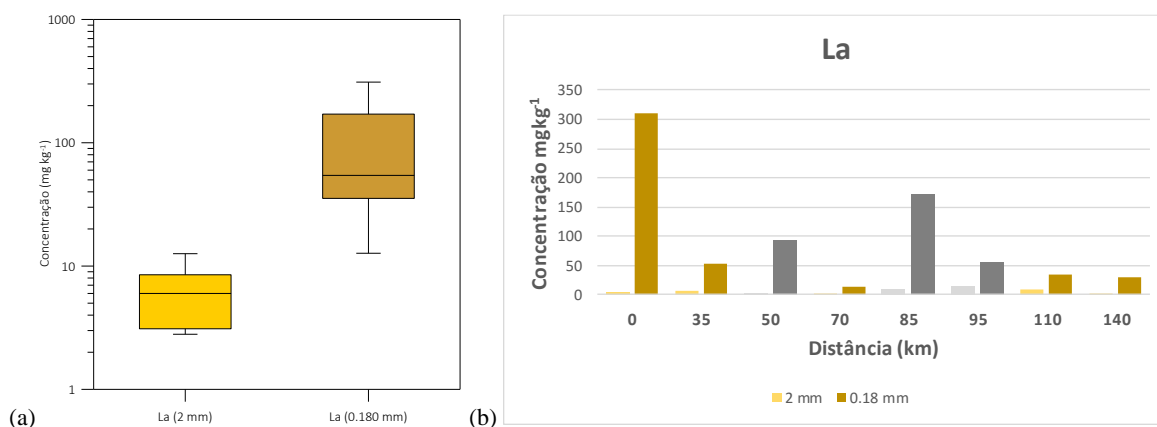


Figura 5.21 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável La e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise das variações das concentrações da variável La com a distância (Figura 5.21b) constata-se que nas duas frações, as concentrações mais elevadas estão localizadas no ponto 1.

Tendencialmente, as concentrações de La vão diminuindo com a distância, apesar de serem notórias as contribuições significativas dos afluentes para o rio Monapo. De acordo com o valor de referência para sedimentos de corrente (51 mg kg^{-1} ; fração $<0,180 \text{ mm}$) estabelecido por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de La significativamente elevadas em alguns dos pontos e para a fração $<0,180 \text{ mm}$.

Lítio (Li)

A figura 5.22 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Li e a variação dos teores com a distância de acordo com as duas frações analisadas.

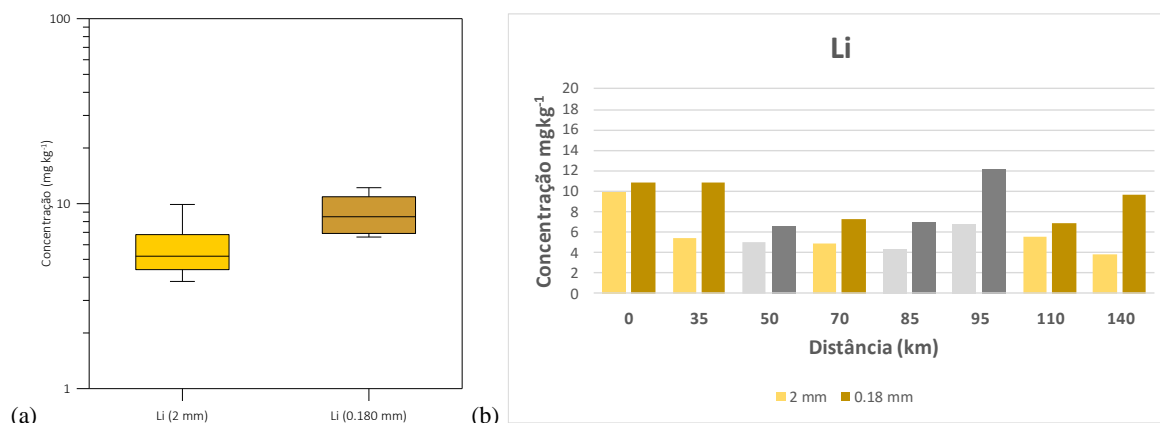


Figura 5.22 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Li; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração $<2 \text{ mm}$ e os mais escuros à fração $<0,180 \text{ mm}$).

Da análise das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.22a pode considerar-se a distribuição como assimétrica positiva, do tipo unimodal para a fração $<2 \text{ mm}$ e amodal para a fração $<0,180 \text{ mm}$. As concentrações em Li na fração $<0,180 \text{ mm}$ (6,6 e $12,2 \text{ mg kg}^{-1}$) são superiores às da fração $<2 \text{ mm}$ (3,8 e $9,9 \text{ mg kg}^{-1}$). Verifica-se ainda que o valor da mediana relativo à fração $<0,180 \text{ mm}$ é 1,6 vezes superior ao valor calculado para a fração $<2 \text{ mm}$.

A variação das concentrações do Li com a distância evidencia que nas duas frações as concentrações mais elevadas deste elemento estão associadas ao ponto 6. Para este elemento, verifica-se que os afluentes principais do rio Monapo apresentam as maiores concentrações, contribuindo significativamente para o aumento das concentrações de Li ao longo do rio Monapo. Considerando o valor de referência para sedimentos de corrente (48 mg kg^{-1} ; fração $<0,063$) podem considerar-se os valores de Li nas amostras de sedimentos como tendencialmente baixos.

Lutécio (Lu)

A figura 5.23 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Lu.

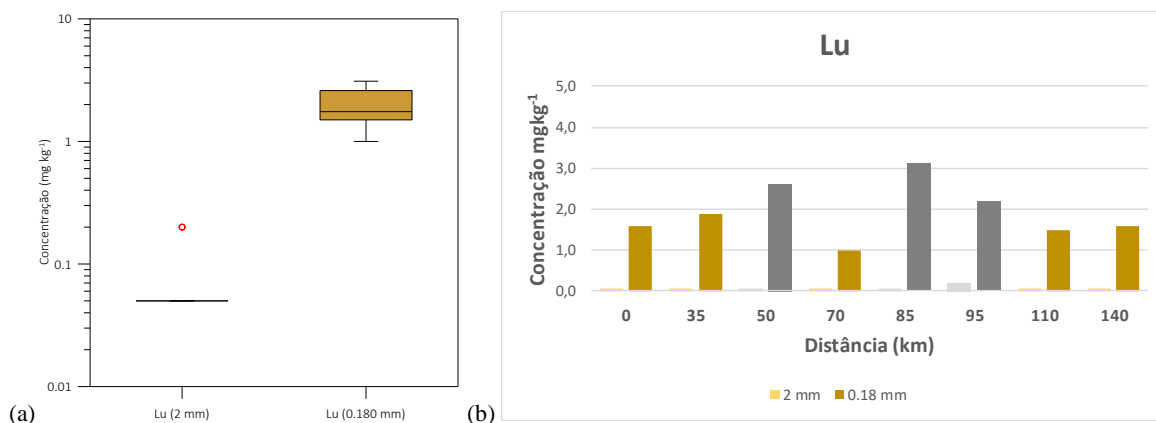


Figura 5.23 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Lu e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

De acordo com os resultados da tabela 4.6 e da figura 5.23a, conclui-se que as distribuições são unimodais, sendo a da fração <2 mm assimetria positiva e a da fração <0,180 mm assimetria negativa. A distribuição das concentrações de Lu com a distância (Figura 5.23b), mostra que os afluentes do rio Monapo apresentam os teores mais elevados deste elemento, na fração <0,180 mm, sendo no ponto 5 (3,1 mg kg⁻¹) que os teores mais elevados. Na fração 2mm, 87,5% das amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de deteção. Não é indicado um valor de referência do Lu para sedimentos de corrente por Reimann & Caritat (1998), mas atendendo aos teores médios deste elemento na crosta (0,32 mg kg⁻¹) pode-se considerar que os teores são tendencialmente mais elevados que este valor,

Magnésio (Mg)

A figura 5.24 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Mg e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

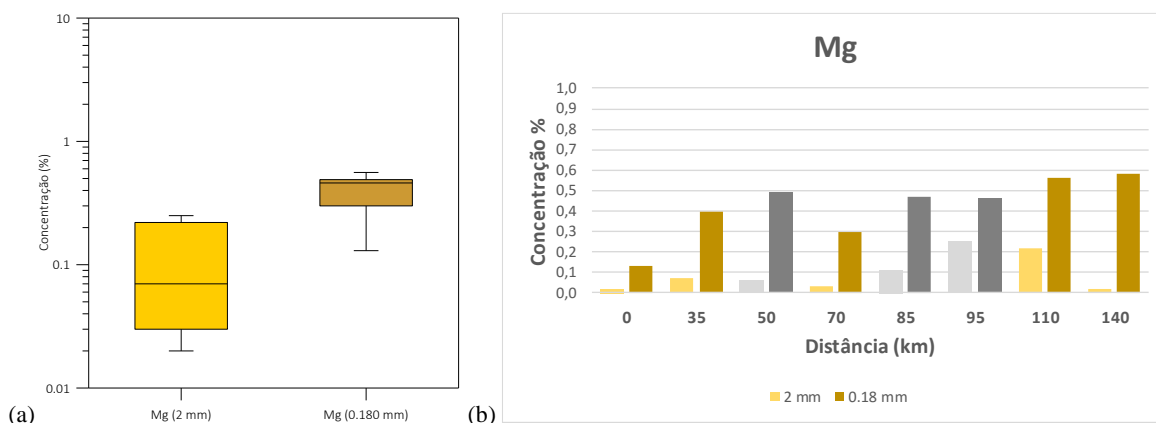


Figura 5.24 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mg; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da observação das tabelas 4.2 e 4.3, assim como da figura 5.24a, pode verificar-se que se trata de uma distribuição unimodal assimétrica positiva para a fração <2 mm e amodal assimétrica negativa para a fração <0,180 mm. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Mg superiores às da

fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 0,02 e 0,25% na fração <2 mm e entre 0,13 e 0,58% para a fração <0,180 mm. Verifica-se, ainda, que o valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm são 6,7 vezes superior aos da fração <2 mm. A análise das variações das concentrações de Mg ao longo do perfil do rio principal mostra que nas duas frações as concentrações elevadas deste elemento ocorrem no ponto 8. Verifica-se, ainda, que os afluentes do rio Monapo contribuem para o aumento das concentrações a jusante das respectivas confluências. De acordo com o valor de referência (1,12%) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações de Mg baixas mas próximas dos teores usuais para este elemento.

Manganês (Mn)

A figura 5.25 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Mn e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da observação das tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.25a constata-se que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal e assimétrica negativa para a fração de <2 mm e assimétrica positiva para a fração <0,180mm. Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Mn superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 61 e 523 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 354 e 1587 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm, com um valor da mediana da fração <0,180 mm 4,1 vezes superior ao valor correspondente à fração <2 mm. A análise das variações das concentrações de Mn com a distância mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas estão associadas ao ponto 3 (1587 mg kg⁻¹) na fração <0,180mm enquanto para fração <2mm a maior concentração ocorre no ponto 6 (523 mg kg⁻¹).

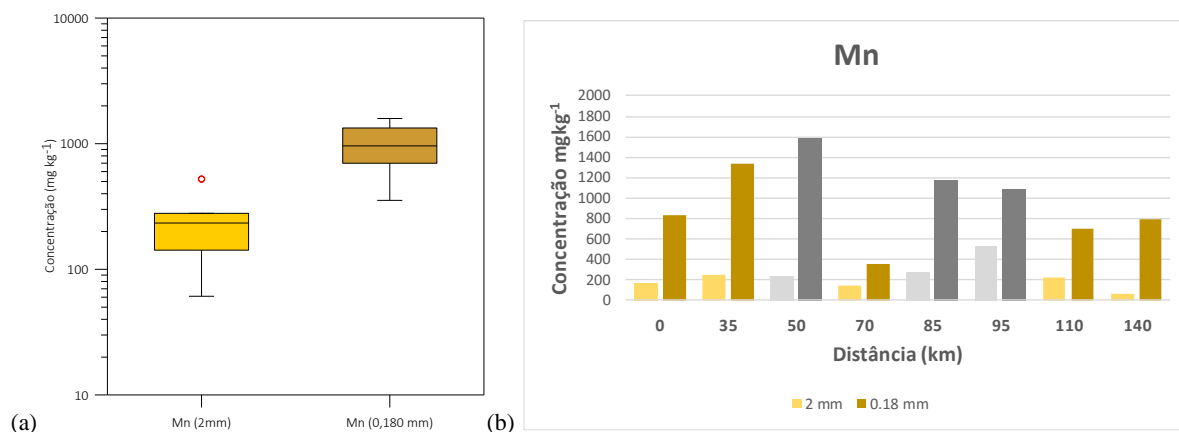


Figura 5.25 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mn; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Para este elemento verifica-se que os três afluentes, Muecate, Mugica e Mussimeti são responsáveis pelo aumento das concentrações em Mn nos sedimentos do rio Monapo. De acordo com o valor de mediana de 850 mg kg⁻¹ proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações de Mn dentro do intervalo estabelecido

pelos autores. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) os valores de Mn a maioria encontra-se entre TEC e MEC podendo pontualmente estar entre o MEC e PEC.

Molibdénio (Mo)

A figura 5.26 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Mo e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. De acordo com a informação das Tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.26a os dados apresentam uma distribuição do tipo unimodal e assimétrica positiva para ambas as frações. Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Mo superiores às da fração <2 mm, ou seja, entre 0,17 e 0,53 mg kg⁻¹ e entre 0,03 e 0,28 mg kg⁻¹, respetivamente.

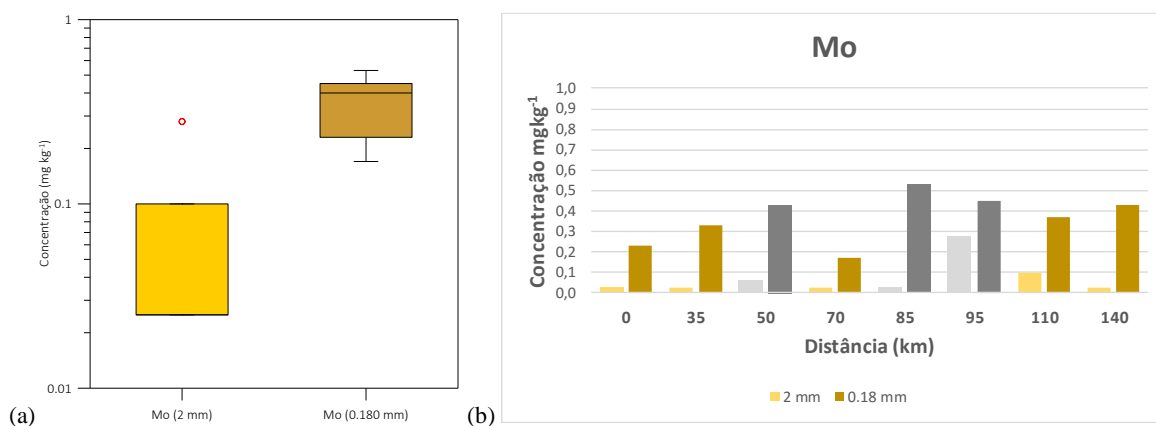


Figura 5.26 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mo; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Observando o mapa de distribuição das concentrações de Mo (Figura 5.26b), verifica-se que na fração <2 mm, 50% das amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de deteção. A maior concentração em Mo foi observada no ponto 5 (0,53 mg kg⁻¹) verificando-se que os dois afluentes são responsáveis pelo aumento das concentrações em Mo nos sedimentos do rio Monapo a jusante destes pontos.

De acordo com o valor de referência (0,7 mg kg⁻¹ Mo) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de Mo relativamente mais baixas mas dentro do intervalo típico dos teores em sedimentos.

Sódio (Na)

A figura 5.27 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Na e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. De acordo com a informação das Tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.27a os dados apresentam uma distribuição assimétrica negativa, sendo do tipo unimodal para a fração <2 mm e do tipo amodal para a fração <0,180 mm. Comparativamente, observa-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Na superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variam entre 0,946 e 2,323 % na fração <2 mm e entre 2,026 e 2,673% para a fração <0,180 mm. Verifica-se ainda que o valor da mediana relativa aos dados da fração <0,180 mm são 1,4 vezes superior aos da fração <2 mm.

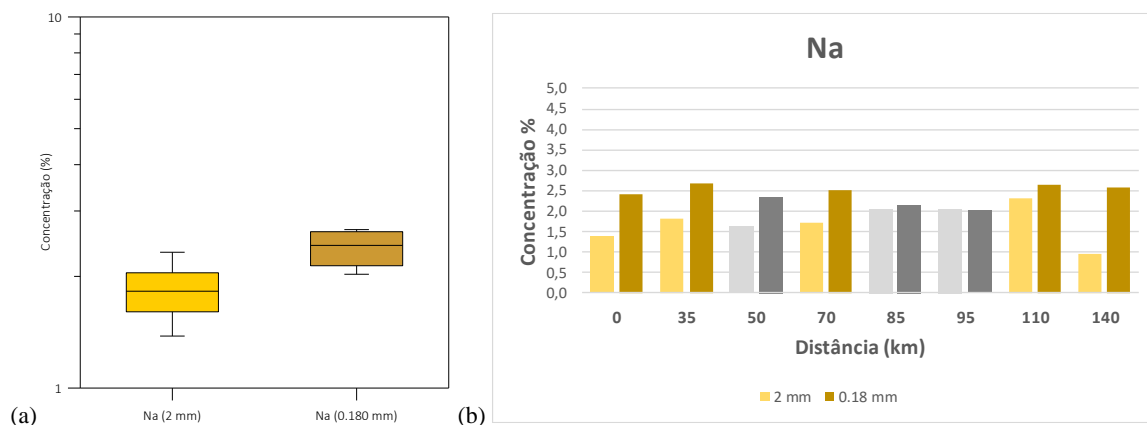


Figura 5.27 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Na; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Pela análise da variação das concentrações de Na ao longo do perfil do rio (Figura 5.27b), verifica-se que nas duas frações as concentrações mais elevadas ocorrem no ponto 2. De acordo com o valor de referência (1,48% Na) proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações de Na relativamente baixas.

Nióbio (Nb)

A figura 5.28 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Nb e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. De acordo com a informação das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.28a, os dados mostram uma distribuição do tipo unimodal assimétrica positiva para ambas as frações em estudo. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Nb superiores às da fração <2 mm, com um valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm 8,6 vezes superior ao valor da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 0,36 e 3,77 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 3,86 e 14,32 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm.

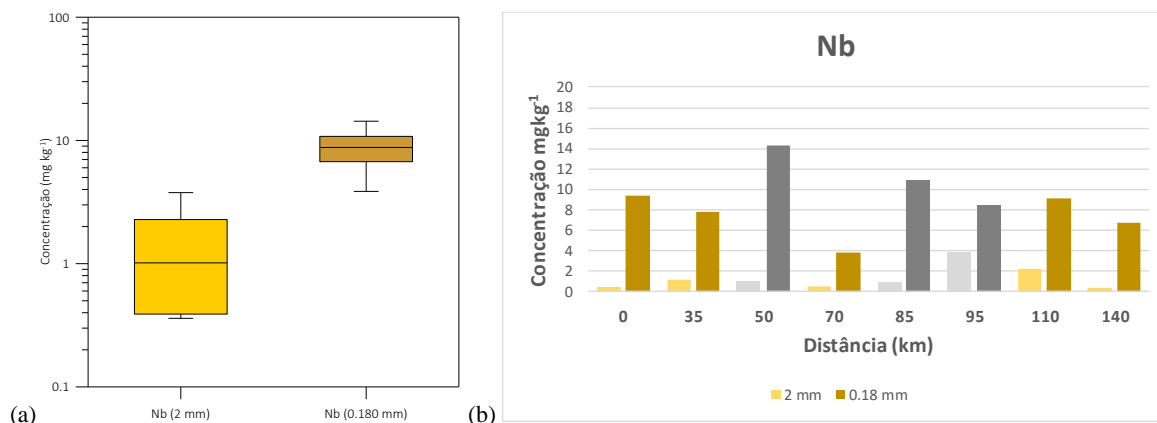


Figura 5.28 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Nb; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise da variação das concentrações do Nb com a distância ao longo do perfil (Figura 5.28b) verifica-se que nas duas frações as concentrações mais elevadas deste elemento ocorrem no ponto 3 ($14,32 \text{ mg kg}^{-1}$). Os afluentes principais deste rio contribuem significativamente para o aumento das concentrações de Nb a jusante desses pontos. De acordo com o valor de referência ($20,7 \text{ mg kg}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações de Nb relativamente baixas.

Neodímio (Nd)

A figura 5.29 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Nd.

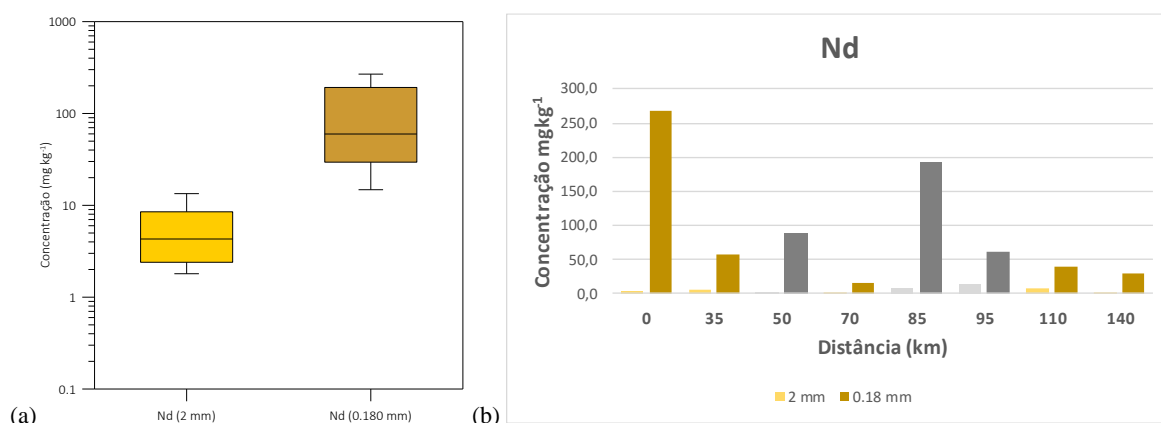


Figura 5.29 - Diagrama de extremos e quartis da variável Nd e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise da informação que consta da tabela 4.6 assim como da figura 5.29a constata-se que os dados apresentam uma distribuição multimodal assimétrica positiva para as duas frações em análise. Observando a variação das concentrações de Nd com a distância (Figura 5.29b), verifica-se que tendencialmente as concentrações vão baixando no sentido jusante. O ponto 1 apresenta a concentração mais elevada na fração <0,180 mm ($268,5 \text{ mg kg}^{-1}$), sendo também de destacar o valor registado no ponto 5 ($192,0 \text{ mg kg}^{-1}$).

Não é indicado um teor de referência para sedimentos de corrente por Reimann & Caritat (1998), mas atendendo aos teores médios deste elemento na crosta (26 mg kg^{-1}) pode-se considerar que os teores estão dentro dos limites normais, excetuando algumas amostras (fração <0,180 mm) cujos teores são consideravelmente mais elevados o valor de referência.

Níquel (Ni)

A figura 5.30 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Ni e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. De acordo com as tabelas 4.2 e 4.3 e figura 5.30a constata-se que se trata de uma distribuição do tipo unimodal assimétrica positiva. Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Ni superiores às da fração <2 mm, com um valor da mediana 5,4 vezes superior na fração <0,180 mm do que na fração <2 mm.

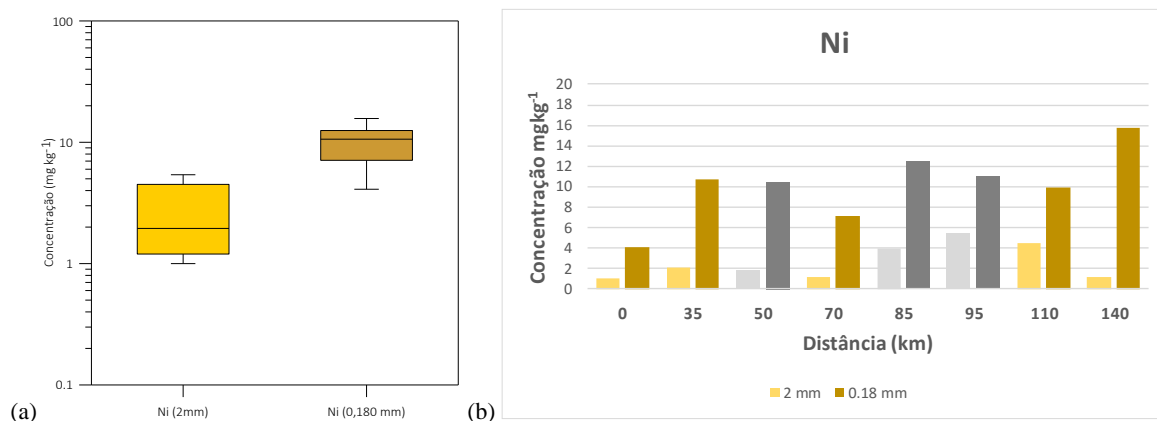


Figura 5.30 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ni; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise da variação das concentrações da variável Ni com a distância verifica-se que as concentrações mais elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 8 (15,7 mg kg⁻¹) na fração <0,180 mm enquanto para fração <2 mm isto verifica-se para o ponto 6 (5,4 mg kg⁻¹). Os três afluentes em estudo (Muecate, Mugica e Mussimeti) contribuem para o aumento das concentrações em Ni nos sedimentos do rio Monapo. De acordo com o valor de referência proposto por Reimann & Caritat (1998) para o Ni (30 mg kg⁻¹), o rio Monapo apresenta concentrações de Ni abaixo desse valor de mediana. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o Ni está abaixo do valor de TEC.

Fósforo (P)

A figura 5.31 apresenta o diagrama de extremos e quartis do P e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

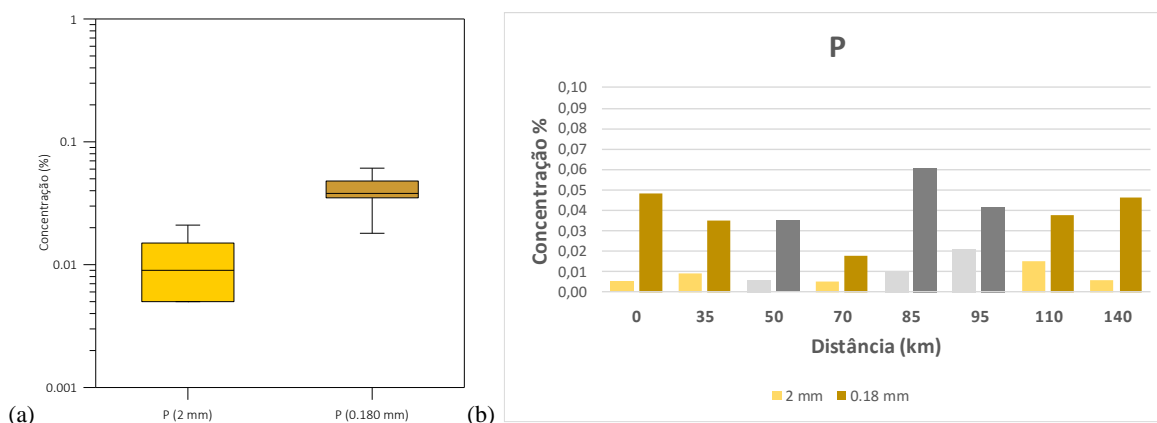


Figura 5.31 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável P; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da observação das tabelas 4.2 e 4.3, assim como da figura 5.31a, verifica-se que se trata de uma distribuição do tipo unimodal, sendo assimétrica positiva para a fração de <2 mm e simétrica para a fração <0,180 mm. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em P superiores às da fração

<2 mm. Os valores registados variam entre 0,005 e 0,21% na fração <2 mm e entre 0,018 e 0,061% para a fração <0,180 mm. Verifica-se que o valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm é 4 vezes superior ao da fração <2 mm.

A análise da variação das concentrações de P com a distância no perfil (Figura 5.31b), mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas ocorrem no ponto 5. Os afluentes parecem contribuir para o aumento das concentrações em P nos sedimentos do rio Monapo a jusante dos seus pontos. De acordo com o valor de referência de P (0,105%) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de P relativamente baixas.

Chumbo (Pb)

A figura 5.32 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Pb e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. As tabelas 4.2 e 4.3 e figura 5.32a mostram que os dados têm uma distribuição do tipo amodal e assimétrica positiva. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Pb superiores às da fração <2 mm, ou seja, entre 18,7 e 30,5 mg kg⁻¹ e entre 11,5 e 23,6 mg kg⁻¹, respetivamente. O valor da mediana relativos aos dados da fração <0,180 mm é 1,4 vezes superior aos da fração <2 mm. A análise das variações das concentrações do Pb com a distância mostra que as concentrações elevadas deste elemento ocorrem no ponto 1 (30,5 mg kg⁻¹) na fração <0,180mm enquanto para fração <2mm se verifica que a concentração mais elevada ocorre no ponto 6 (23,6 mg kg⁻¹).

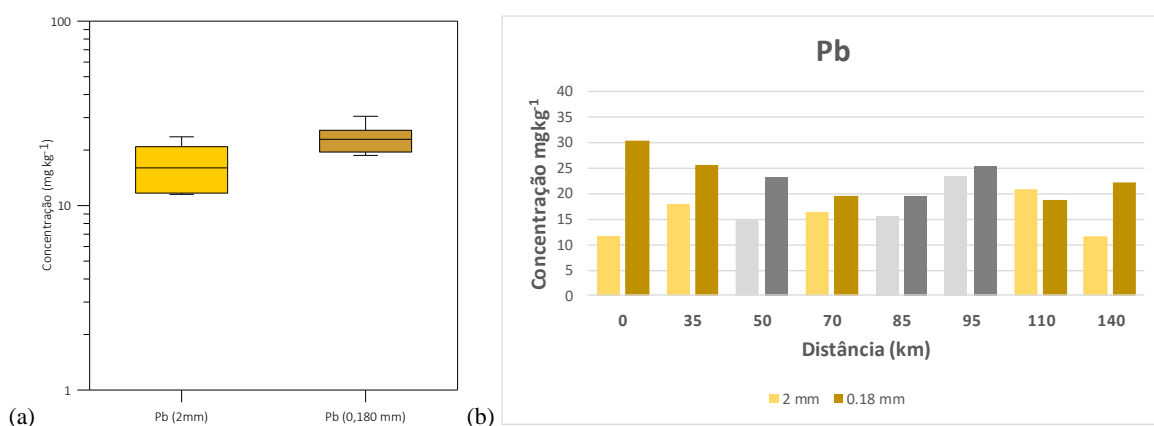


Figura 5.32 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Pb; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Constata-se ainda que o ponto 7 e na fração <2mm apresenta concentrações mais elevadas em relação a fração <0,180 mm. De acordo com o valor de referência (26 mg kg⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações que se podem considerar dentro do intervalo típico de teores de Pb para sedimentos. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o Pb está abaixo do valor de TEC.

Praseodímio (Pr)

A figura 5.33 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Pr. Pela análise dos resultados da tabela 4.6 e da figura 5.33a verifica-se que se trata de uma distribuição do tipo multimodal assimétrica positiva para as duas frações.

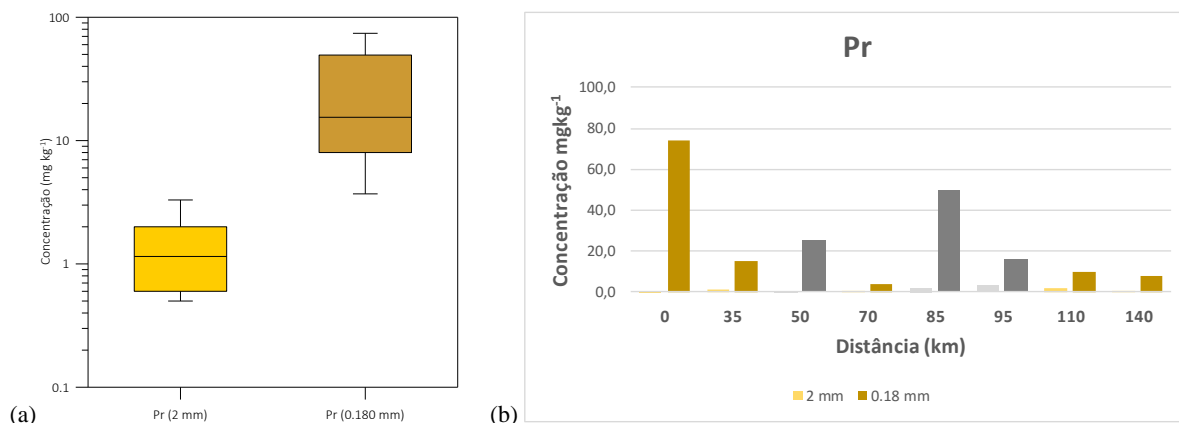


Figura 5.33 - Diagrama de extremos e quartis da variável Pr e (b) a variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Observando a variação das concentrações de Pr (Figura 5.33b) verifica-se que as concentrações da fração <0,180 mm vão tendencialmente diminuindo ao longo do perfil. O ponto 1 apresenta as concentrações mais elevadas em Pr na fração <0,180 mm (74,1 mg kg⁻¹), sendo também de referir as concentrações obtidas nas amostras representativas dos locais de amostragem 3 e 5 (49,9 e 24,9 mg kg⁻¹, respetivamente). Na fração <2 mm as concentrações aumentam até o ponto 6 e depois diminuem à medida que se aproxima a foz. Dado que não são apresentados valores de referência deste elemento para sedimentos de corrente por Reimann & Caritat (1998), considerou-se o valor de 7,1 mg kg⁻¹ de abundância média na crosta para comparação, pelo que se podem considerar estes valores como relativamente elevados em relação a este valor.

Rubídio (Rb)

A figura 5.34 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Rb e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

As tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.34a mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo unimodal e assimétrica negativa para a fração <2 mm e amodal assimétrica positiva para a fração <0,180 mm. Comparativamente verifica-se também que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Rb superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 24,6 e 66,2 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 40,7 e 80,0 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm.

A análise das variações das concentrações da variável Rb com a distância permite constatar que, nas duas frações, as concentrações elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 2 (66,2 mg kg⁻¹).

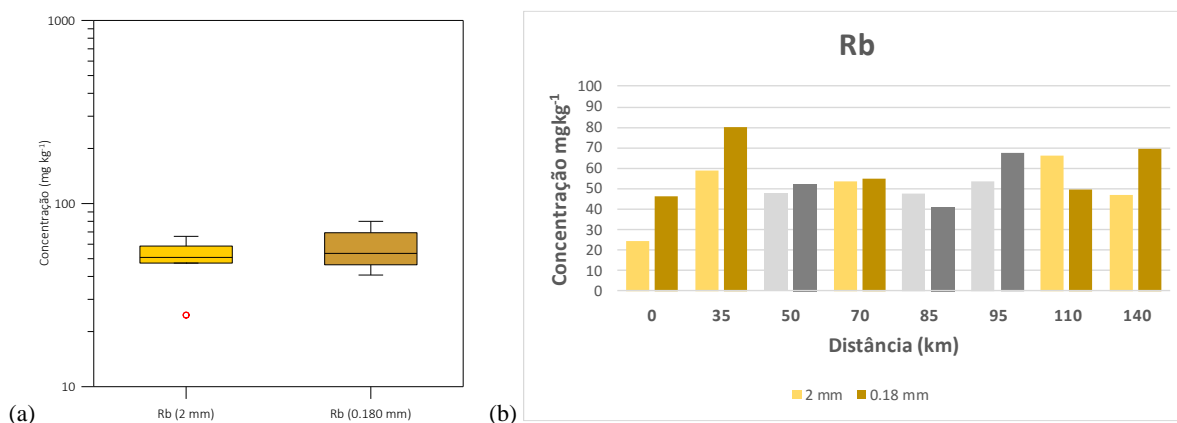


Figura 5.34 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Rb; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Nesta variável observa-se que os pontos 5 e 7 (fração <2mm) apresentam concentrações mais elevadas em relação a fração <180 μ m. Verifica-se, ainda, que os afluentes contribuem para o aumento das concentrações de Rb ao longo do rio Monapo a jusante desses pontos. De acordo com o valor de referência (91 mg kg⁻¹), proposto por Reimann & Caritat (1998), os sedimentos do rio Monapo e afluentes apresentam baixas concentrações de Rb.

Antimónio (Sb)

A figura 5.35 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Sb e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da análise das tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.35a pode verificar-se, que se trata de uma distribuição unimodal, sendo assimétrica positiva para a fração <2mm e simétrica para a fração <0,180 mm. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Sb superiores às da fração <2 mm.

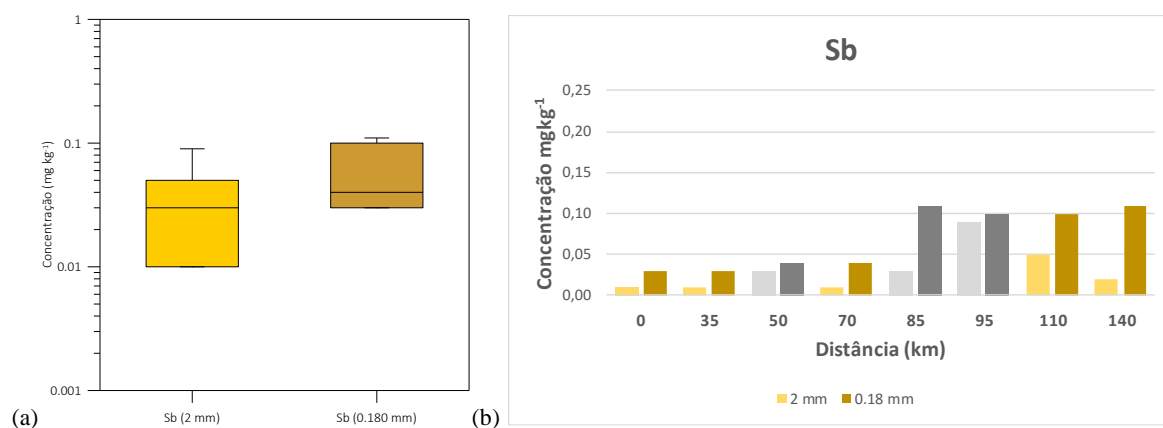


Figura 5.35 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Sb; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Os valores registados variaram entre 0,01 e 0,09 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 0,03 e 0,11 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm. Verifica-se ainda que o valor da mediana relativos às concentrações da fração <0,180 mm é 2,3 vezes superior aos da fração <2 mm.

Da análise das variações das concentrações da variável Sb com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes, verifica-se que nas duas frações as concentrações mais elevadas deste elemento estão localizadas nos pontos 5 e 8.

Verifica-se também que os afluentes são responsáveis pelo aumento das concentrações em Sb nos sedimentos do rio Monapo, a jusante dos seus pontos. Para este elemento, verifica-se que na fração de <2mm, as concentrações estiveram abaixo dos limites de deteção em 37,5% das amostras. De acordo com o valor de referência de 2 mg kg^{-1} proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo e seus afluentes apresentam baixas concentrações de Sb. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o Sb está abaixo do valor de TEC.

Escândio (Sc)

A figura 5.36 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da observação das tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.36a verifica-se, que se trata de uma distribuição do tipo unimodal assimétrica para a fração <2 mm e amodal assimétrica negativa para a fração <0,180mm. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Sc superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 0,3 e $5,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na fração <2 mm e entre 1,9 e $9,3 \text{ mg kg}^{-1}$ para a fração <0,180 mm. Verifica-se ainda que o valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm é 7,7 vezes superior ao valor calculado para fração <2 mm.

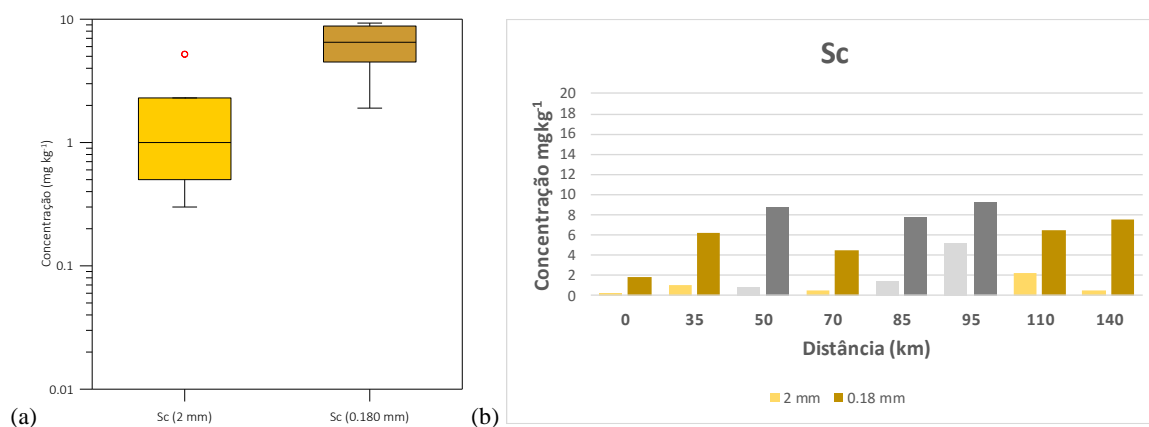


Figura 5.36 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Sc; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise das variações das concentrações da variável Sc ao longo do perfil do rio verifica-se que nas duas frações as concentrações mais elevadas estão associadas ao ponto 5. Para este elemento, verifica-se que os afluentes apresentam as maiores concentrações, contribuindo significativamente para o aumento das concentrações de Sc ao longo do rio Monapo. De acordo com o valor de referência (14 mg kg^{-1}) proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações sensivelmente baixas de Sc comparativamente ao valor proposto pelos autores.

Samário (Sm)

A figura 5.37 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Sm.

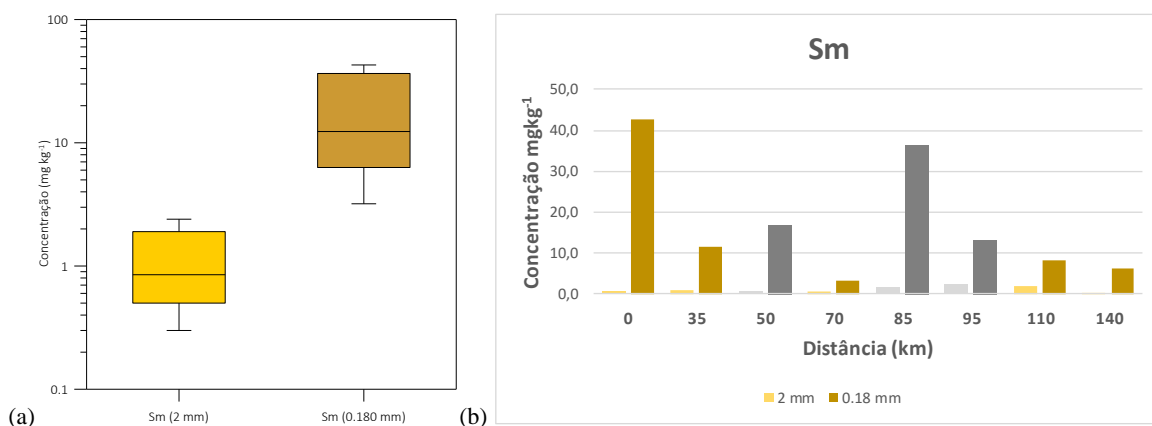


Figura 5.37 - Diagrama de extremos e quartis da variável Sm e (b) a variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

De acordo com os resultados da tabela 4.6 e da figura 5.37a pode afirmar-se que os dados apresentam uma distribuição do tipo assimétrica positiva, sendo unimodal para a fração <2mm e multimodal para a fração <0,180 mm. As concentrações de Sm ao longo do perfil (Figura 5.37b), apresentam um comportamento idêntico aos elementos Ce, Pr e Nd com as concentrações mais elevadas associadas à fração <0,180 mm. Destaca-se o ponto 1 que apresenta concentrações elevadas na fração <0,180 mm ($42,8 \text{ mg kg}^{-1}$). Também os pontos 3 e 5 registam valores elevados ($16,8$ e $36,5 \text{ mg kg}^{-1}$, respetivamente). Na fração <2 mm observa-se que as concentrações de Sn no rio Monapo aumentam do ponto 1 até o ponto 6 verificando-se posteriormente uma diminuição dos valores com aproximação à foz. Para comparação destes teores utilizou-se como referência o valor médio da crosta continental superior ($4,7 \text{ mg kg}^{-1}$ - Reimann & Caritat, 1998), pelo que se pode considerar que na fração <0,180 mm parece existir um enriquecimento em relação aos valores da crosta.

Estanho (Sn)

A figura 5.38 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Sn e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

Da análise das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.38a verifica-se, que os dados apresentam, para as duas frações em análise, uma distribuição do tipo unimodal assimétrica positiva. Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Sn superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre $0,1$ e $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ na fração <2 mm e entre $1,2$ e $2,3 \text{ mg kg}^{-1}$ para a fração <0,180 mm. O valor da mediana para os dados relativos à fração <0,180 mm é 4,3 vezes superior ao valor estimado para os dados da fração <2 mm.

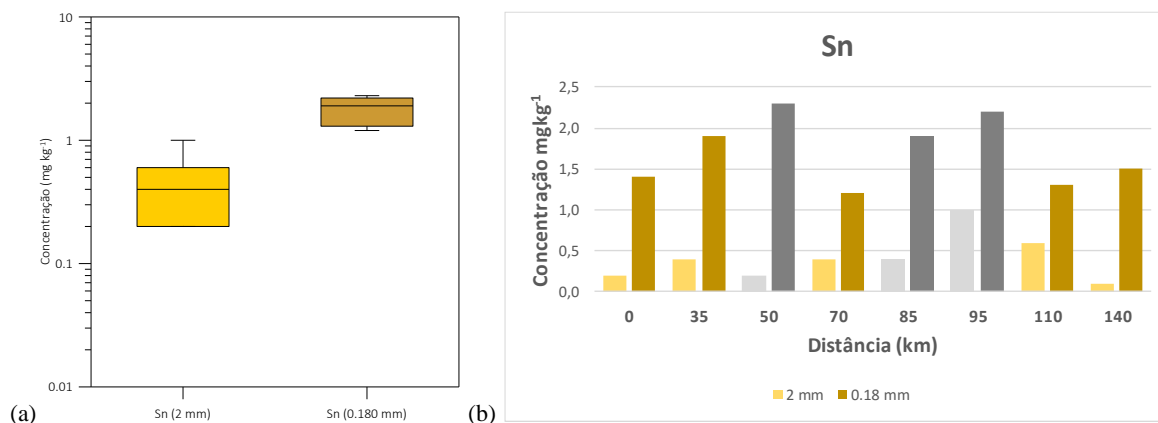


Figura 5.38 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Sn; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da análise das variações das concentrações da variável Sn com a distância verifica-se que nas duas frações as concentrações mais elevadas deste elemento ocorrem no ponto 3 (2,3 mg kg⁻¹). Para este elemento, verifica-se as que os afluentes contribuem significativamente para o aumento das concentrações de Sn ao longo do rio Monapo. De acordo com o valor de referência (3,3 mg kg⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações sensivelmente baixas de Sn.

Estrôncio (Sr)

A figura 5.39 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Sr e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

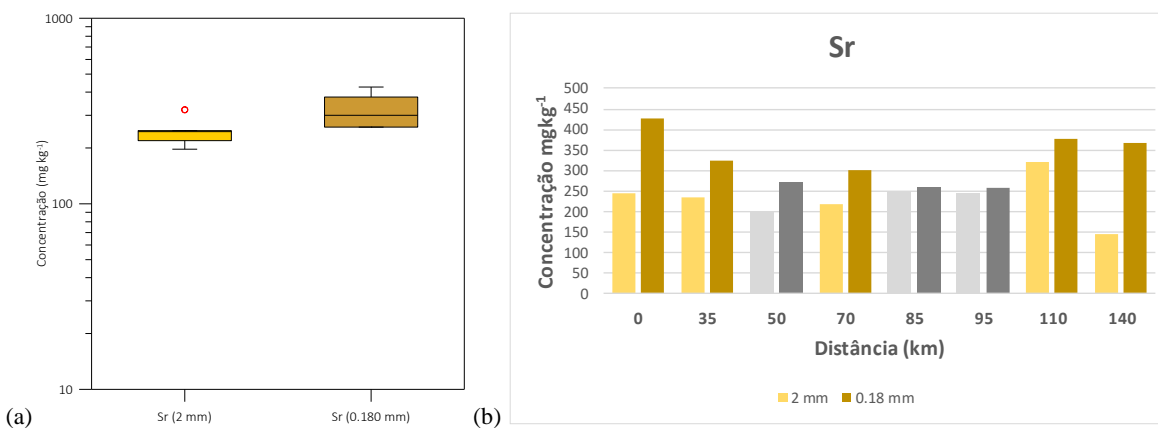


Figura 5.39 - (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Sr; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da observação dos resultados das tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.39a constata-se, que se trata de uma distribuição amodal assimétrica para a fração de <2mm e unimodal assimétrica positiva para a fração de <0,180 mm. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em Sr superiores às da fração <2 mm, cujos valores registados variaram entre 259 e 426 mg kg⁻¹ e 144 e

321 mg kg⁻¹, respetivamente. O valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm é 1,3 vezes superior aos da fração <2 mm. Da análise das variações das concentrações da variável Sr ao longo do perfil do rio verifica-se que, nas duas frações, as concentrações mais elevadas são encontradas no ponto 1. Para este elemento, verifica-se que os afluentes apresentam concentrações de Sr inferiores em relação às do rio Monapo. De acordo com o valor de referência de 187 mg kg⁻¹ proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações de Sr tendencialmente mais elevadas em relação a este valor.

Tântalo (Ta)

A figura 5.40 apresenta os histogramas de frequências e o diagramas de extremos e quartis, da variável Ta. Observa-se na figura 5.40a e tabelas 4.2 e 4.3 as distribuições são unimodais com assimetria positiva. Observando o mapa de distribuição das concentrações do Ta (Figura 5.40), verifica-se que a concentração maior da fração <0,180 mm localiza-se no ponto 3. Na fração <2 mm, cerca de 75% das amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de deteção do método.

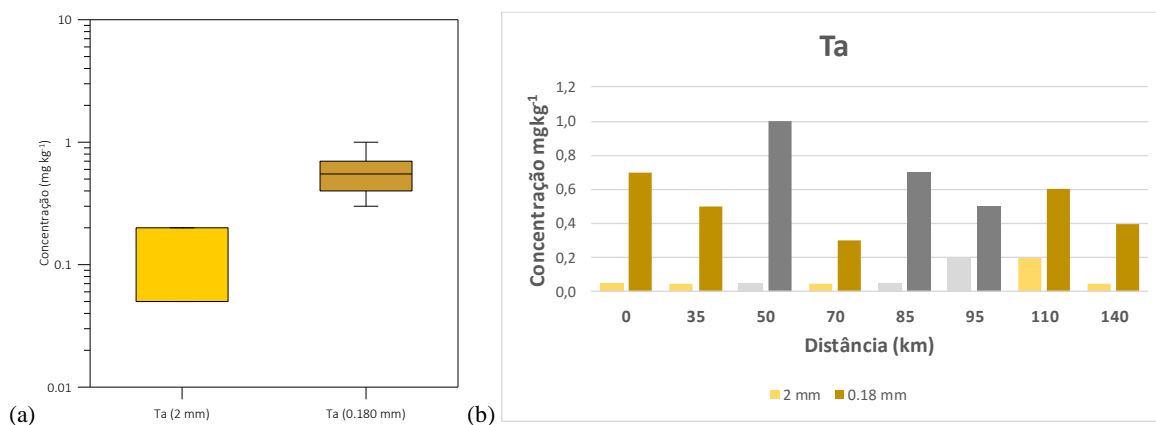


Figura 5.40- (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ta; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

De acordo com o valor de referência (2,7 mg kg⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações sensivelmente baixas de Ta.

Térbio (Tb)

A figura 5.41 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Tb. Na tabela 4.6 e na figura 5.41a podemos constatar que os dados apresentam distribuição assimétrica positiva, sendo unimodal para a fração <2 mm e multimodal para a fração <0,180 mm.

Observando a variação das concentrações de Tb ao longo do perfil do rio (Figura 5.41b), verifica-se que a fração <0,180 mm é mais enriquecida, apresentando no ponto 5 a concentração mais elevada em Tb (3,0 mg kg⁻¹). Na fração <2 mm, 62.5% das amostras apresentaram valores abaixo do limite de deteção. Considerando o valor médio na crosta continental superior (0,64 mg kg⁻¹ - Reimann & Caritat, 1998) os valores podem ser considerados típicos.

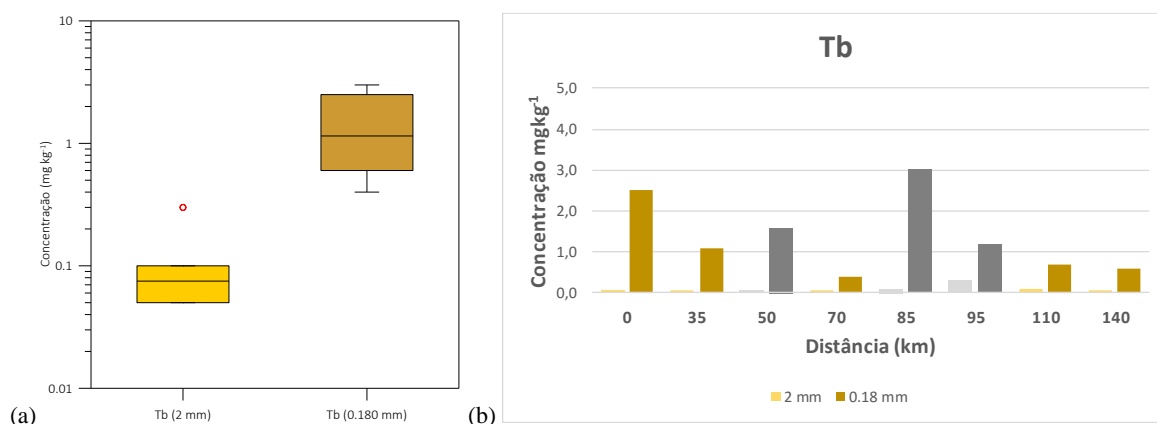


Figura 5.41 - Diagrama de extremos e quartis da variável Tb e (b) a variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Tório (Th)

A figura 5.42 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Th e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

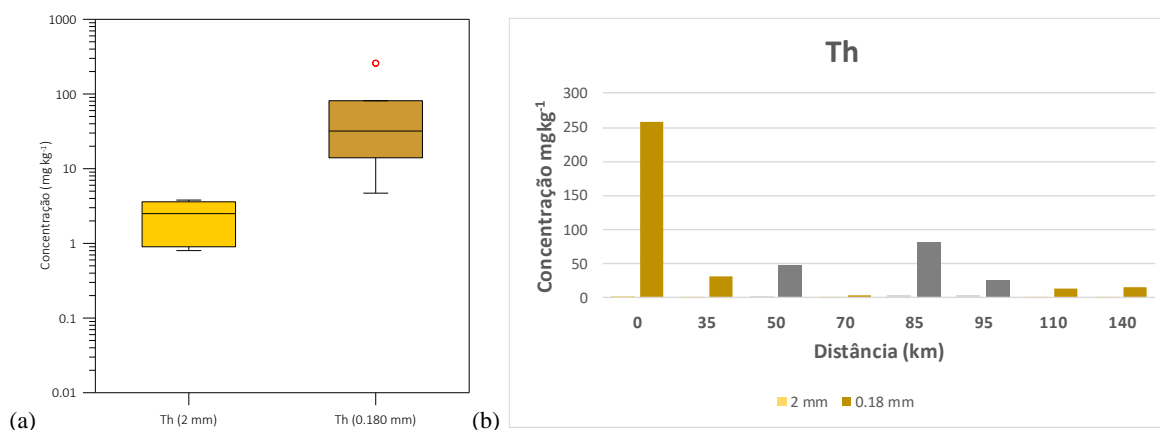


Figura 5.42 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Th; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da observação das tabelas 4.2 e 4.3 e da figura 5.42a verifica-se, que se trata de uma distribuição do tipo amodal, sendo simétrica para a fração <2 mm e assimétrica positiva para a fração <0,180 mm. Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Th superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 0,8 e 3,8 mg kg^{-1} na fração <2 mm e entre 4,7 e 258,6 mg kg^{-1} para a fração <0,180 mm. Verifica-se, ainda, que o valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm é 14 vezes superior ao valor da mediana relativa aos valores da fração <2 mm.

Da análise da variação das concentrações da variável Th ao longo do perfil verifica-se que, nas duas frações, as concentrações mais elevadas estão localizadas no ponto 1. Verifica-se ainda que

as concentrações de Th vão diminuindo apesar das contribuições significativas dos afluentes. De acordo com o valor de referência $12,7 \text{ (mg kg}^{-1}\text{)}$ proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta concentrações de Th dentro do intervalo de valores proposto pelos autores, mas para algumas amostras (fração $<0,180 \text{ mm}$) esse valor é significativamente ultrapassado.

Titânio (Ti)

A figura 5.43 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Ti e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da análise das tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.43a constata-se, que os dados em análise apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica. Comparativamente, verifica-se que a fração $<0,180 \text{ mm}$ apresenta concentrações em Ti superiores às da fração $<2 \text{ mm}$. Os valores registados variaram entre 0,018 e 0,286% na fração $<2 \text{ mm}$ e entre 0,211 e 1,156 % para a fração $<0,180 \text{ mm}$, com um valor da mediana da fração $<0,180 \text{ mm}$ 11,8 vezes superior ao valor correspondente à fração $<2 \text{ mm}$.

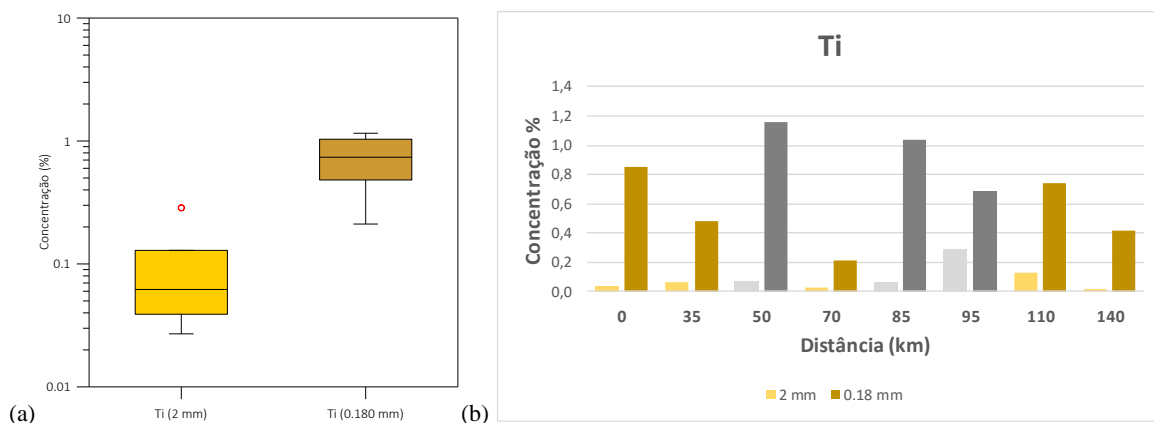


Figura 5.43 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ti; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração $<2 \text{ mm}$ e os mais escuros à fração $<0,180 \text{ mm}$).

A análise da variação das concentrações da variável Ti com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações, mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas ocorrem no ponto 4. Verifica-se assim que os afluentes principais contribuem significativamente para o aumento das concentrações de Ti ao longo do rio Monapo, a jusante destes pontos. De acordo com o valor de referência (0,51 %) proposto por Reimann & Caritat (1998), as concentrações dentro do intervalo de valores típicos.

Tálio (Tl)

A figura 5.44 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Tl e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas. Da observação das tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.44a verifica-se, que se trata de uma distribuição do tipo amodal assimétrica positiva. Comparativamente verifica-se que a fração $<0,180 \text{ mm}$ apresenta concentrações em Tl superiores às da fração $<2 \text{ mm}$. Os valores registados variaram entre 0,17 e $0,41 \text{ mg kg}^{-1}$ na fração $<2 \text{ mm}$ e entre 0,22 e $0,48 \text{ mg kg}^{-1}$ para a fração $<0,180 \text{ mm}$.

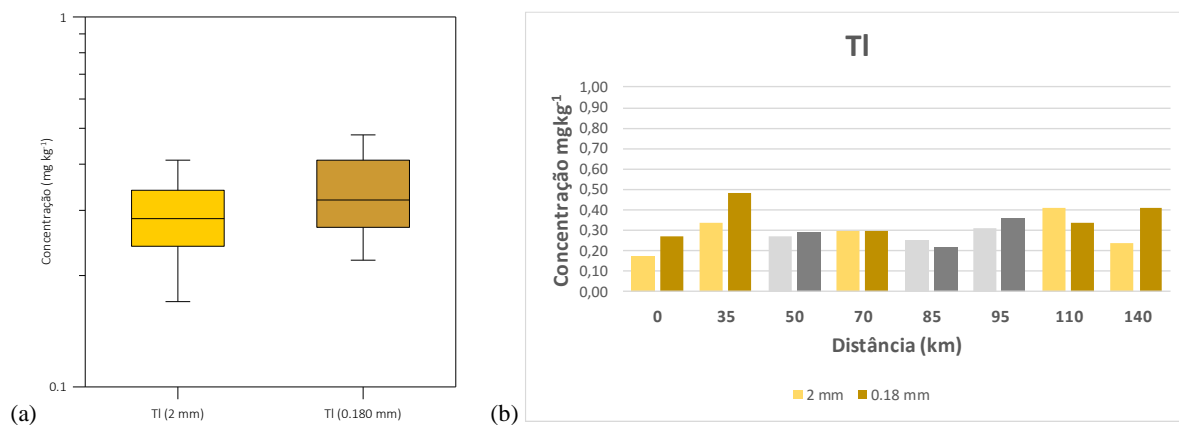


Figura 5.44 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Tl; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

A análise da variação das concentrações da variável Tl com a distância mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas estão localizadas no ponto 2 (0,22 mg kg⁻¹). Verifica-se ainda que os afluentes tendem a diminuir as concentrações de Tl no rio Monapo a jusante desses pontos. Nesta variável observa-se que nos pontos 5 e 7 a fração <2 mm apresenta concentrações maiores em relação a fração <0,180 mm. Considerando o valor de 0,79 mg kg⁻¹ (fração <0,063 mm) apresentado por Reimann & Caritat (1998) pode-se considerar que este elemento encontra-se dentro dos valores típicos para sedimentos.

Túlio (Tm)

A figura 5.45 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Tm. De acordo com os resultados da tabela 4.6 e da figura 5.45a os dados, apresentam, em ambas as frações, uma distribuição do tipo unimodal com assimetria positiva.

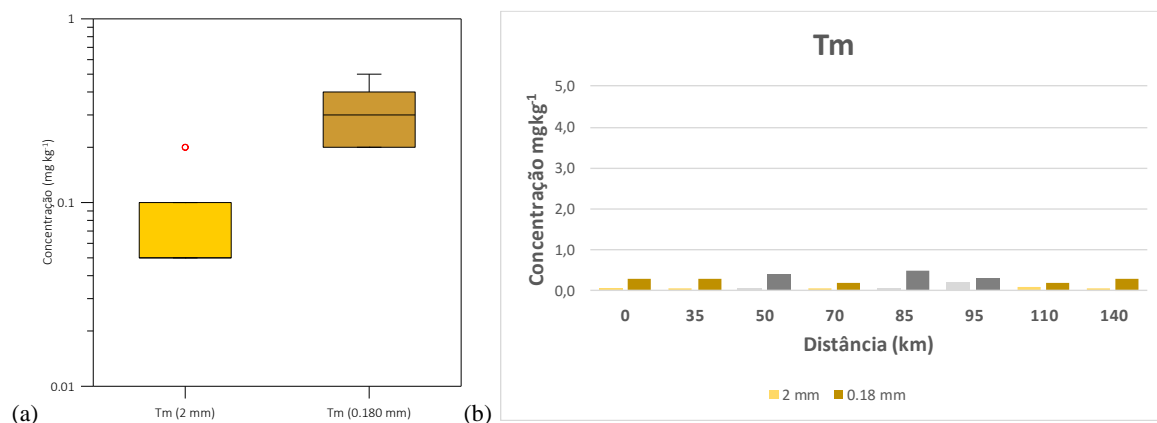


Figura 5.45 - Diagrama de extremos e quartis da variável Tm e (b) a variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

A distribuição das concentrações de Tm com a distância (Figura 5.45b) mostra um comportamento idêntico ao observado para os elementos Eu, Gd, Tb, Dy, Ho e Er. A concentração mais elevada foi observada na fração <0,180 mm localiza-se no ponto 5 (0,5 mg kg⁻¹), embora todos os pontos

apresentam concentrações muito semelhantes. Na fração <2 mm, verifica-se que cerca de 75% das amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de deteção do método. Considerando o valor médio na crosta continental superior ($0,33 \text{ mg kg}^{-1}$ - Reimann & Caritat, 1998) os valores podem ser considerados típicos.

Urânio (U)

A figura 5.46 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável U e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

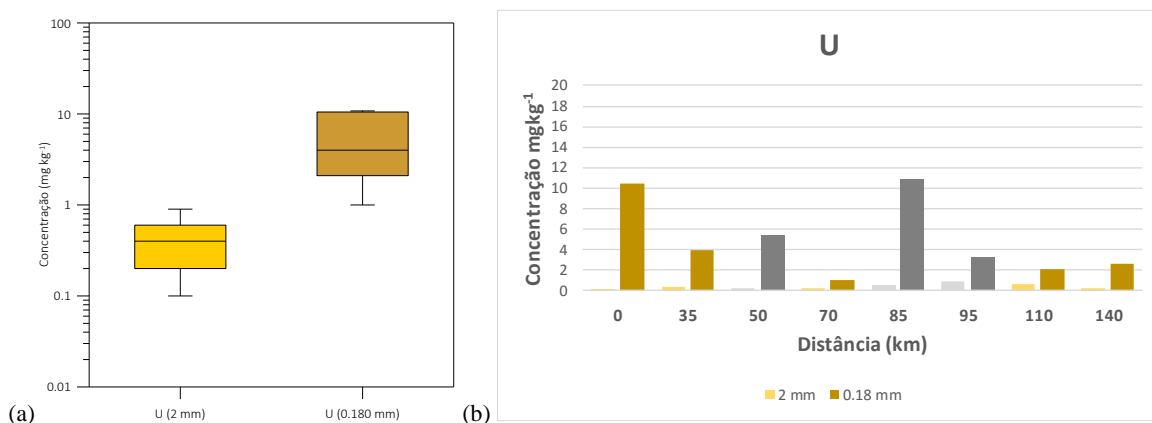


Figura 5.46 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável U; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

A análise da variação das concentrações da variável U ao longo do perfil do rio mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 5. Verifica-se ainda que o afluente Mugica é responsável pelo aumento das concentrações em U nos sedimentos do rio Monapo a jusante deste ponto. De acordo com o valor de referência (5 mg kg^{-1}) proposto por Reimann & Caritat (1998), pode-se considerar que os teores deste elemento enquadram-se dentro dos valores típicos para este elemento.

Vanádio (V)

A figura 5.47 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável V e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

Da observação da tabela 4.2 e 4.3 e da figura 5.47a constata-se que os dados apresentam uma distribuição do tipo unimodal, sendo assimétrica positiva para a fração de <2mm e assimétrica negativa para a fração de <0,180 mm. A fração <0,180 mm apresenta concentrações em V superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 6 e 37 mg kg^{-1} para a fração <2 mm e entre 29 e 73 mg kg^{-1} para a fração <0,180 mm. Verifica-se também que o valor da mediana relativo aos dados da fração <0,180 mm é 6,6 vezes superior ao da fração <2 mm.

A análise da variação das concentrações do V ao longo do perfil permite observar que nas duas frações as concentrações mais elevadas estão localizadas no ponto 6.

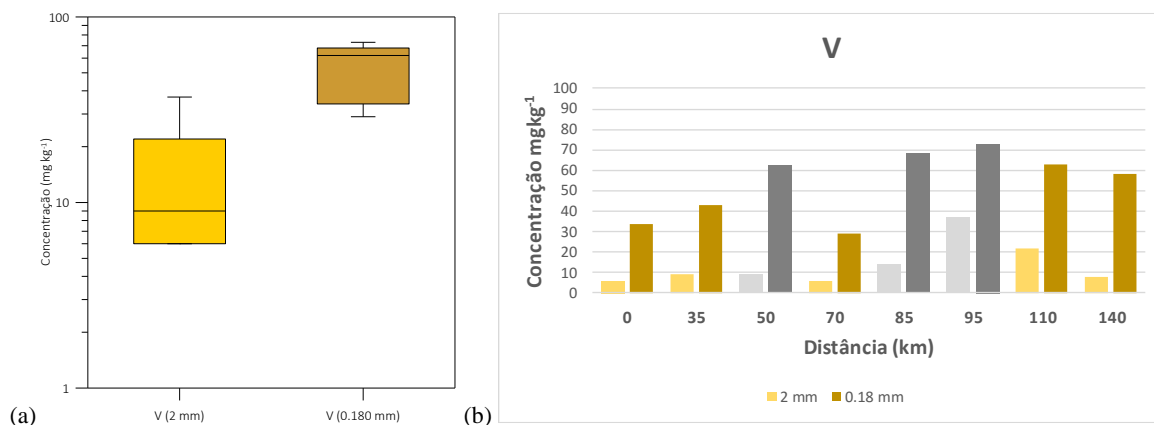


Figura 5.47 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável V; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Para este elemento verifica-se que os três afluentes, Muecate, Mugica e Mussimeti são responsáveis pelo aumento das concentrações em V nos sedimentos do rio Monapo, a jusante destes pontos. De acordo com o valor de referência (98 mg kg⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de V comparativamente baixas.

Tungsténio (W)

A figura 5.48 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável W e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

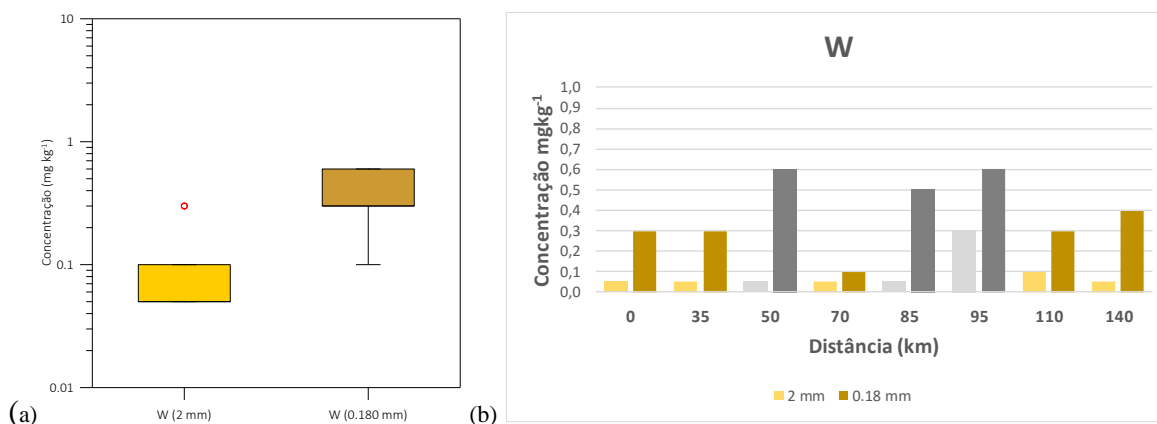


Figura 5.48 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável W; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da observação dos resultados da análise estatística univariada apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3 assim como da figura 5.48a verifica-se, que se trata de uma distribuição do tipo unimodal sendo assimétrica positiva para a fração <2 mm e assimétrica negativa para a fração <0,180 mm. Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em W superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 0,1 e 0,3 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 0,1 e 0,6 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm. Verifica-se também que o valor da mediana para

os resultados da fração <0,180 mm é 7 vezes superior ao valor da mediana para a fração <2 mm. Da análise das variações das concentrações da variável W com a distância verifica-se que nas duas frações as concentrações elevadas deste elemento estão localizadas nos pontos 3 e 6 ($0,6 \text{ mg kg}^{-1}$; fração <0,180 mm).

Para este elemento, os afluentes possuem as maiores concentrações, contribuindo significativamente para o aumento das concentrações de W ao longo do rio Monapo. Observa-se que na fração de <2 mm, as concentrações estiveram abaixo dos limites de deteção em 75% das amostras. De acordo com o valor de referência (1 mg kg^{-1}) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta baixas concentrações de W quando comparado com o valor proposto pelos autores.

Ítrio (Y)

A figura 5.49 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Y e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

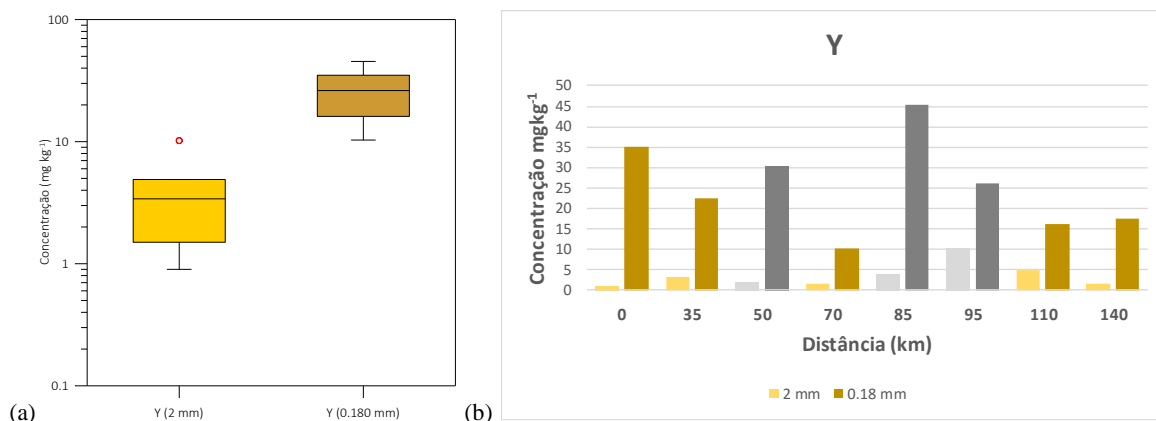


Figura 5.49 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Y; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

Da observação dos resultados 4.2 e 4.3 e da figura 5.49a pode verificar-se, que se trata de uma distribuição amodal assimétrica positiva. Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Y superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre $0,9$ e $10,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na fração <2 mm e entre $10,3$ e $45,4 \text{ mg kg}^{-1}$ para a fração <0,180 mm. Verifica-se que o valor da mediana relativo aos resultados obtidos na fração <0,180 mm é 9 vezes superior ao valor da fração <2 mm. A análise das variações das concentrações da variável Y com a distância e possível influência dos contributos dos diferentes afluentes na variação dessas concentrações, mostra que nas duas frações as concentrações mais elevadas ocorrem no ponto 5 ($45,4 \text{ mg kg}^{-1}$). Verifica-se também que os afluentes contribuem para o aumento das concentrações de Y ao longo do rio Monapo, a jusante destes pontos. De acordo com o valor de referência (37 mg kg^{-1}) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de Y dentro do intervalo de valores proposto pelos autores.

Ítérbio (Yb)

A figura 5.50 apresenta o diagrama de extremos e quartis e a variação espacial das concentrações de Yb. De acordo com os resultados da tabela 4.6 e da figura 5.50a os dados, apresentam, em ambas as frações, uma distribuição do tipo unimodal com assimetria positiva.

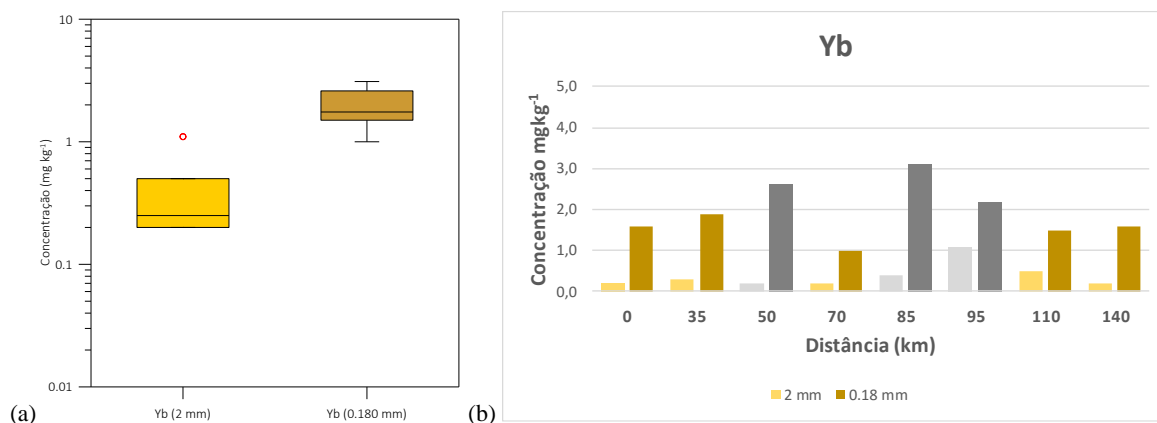


Figura 5.50 - Diagrama de extremos e quartis da variável Yb e (b) a variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

A distribuição das concentrações de Yb com a distância (Figura 5.50b), mostra um comportamento idêntico ao observado para os elementos Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er e Tm. A concentração mais elevada foi observada na fração <0,180 mm localizada no ponto 5 (3,1 mg kg^{-1}). Consta-se também que todos os pontos apresentam concentrações muito semelhantes. Na fração <2 mm, verifica-se que a concentração mais elevada foi registada no ponto 6 (1,1 mg kg^{-1}). Todos os restantes pontos apresentam concentrações que variam entre 0,2 e 0,5 mg kg^{-1} . Considerando o valor médio na crosta continental superior (2,2 mg kg^{-1} - Reimann & Caritat, 1998) podem-se considerar os valores determinados como próximos deste valor.

Zinco (Zn)

A figura 5.51 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Zn e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

Da análise dos resultados das tabelas 4.2 e 4.3 assim como da observação da figura 5.51a verifica-se, que se trata de uma distribuição do tipo amodal e assimétrica enviesada para a direita. Comparativamente verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Zn superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 3,9 e 51,7 mg kg^{-1} na fração <2 mm e entre 26,1 e 91,3 mg kg^{-1} para a fração <0,180 mm. Verifica-se que o valor da mediana para os resultados referentes à fração <0,180 mm é 5 vezes superior ao valor referente à fração <2 mm.

A análise das variações das concentrações da variável Zn com a distância mostra que as concentrações mais elevadas deste elemento estão localizadas no ponto 6 (91,3 mg kg^{-1} e 51,7 mg kg^{-1} para as frações <0,180 mm e <2 mm, respetivamente).

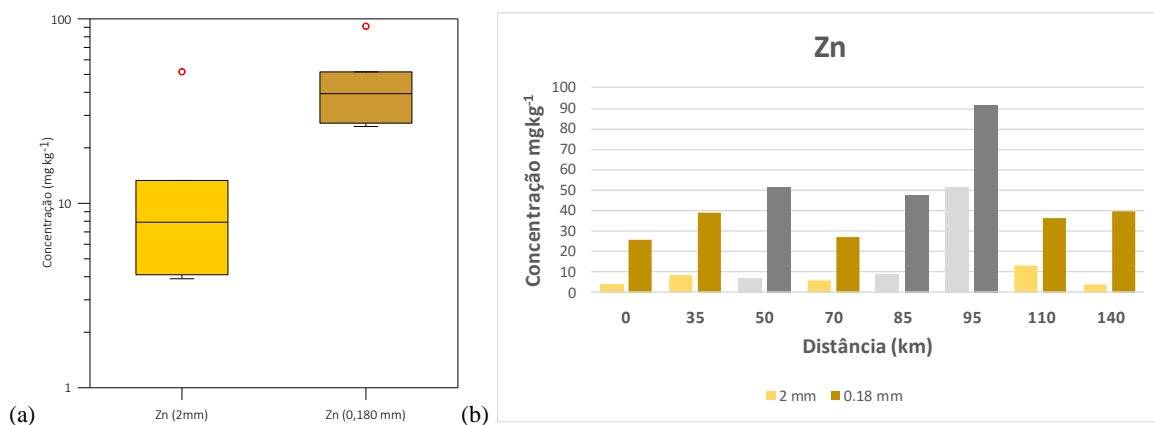


Figura 5.51 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Zn; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

De acordo com o valor de 80 mg kg⁻¹ proposto por Reimann & Caritat (1998) o rio Monapo apresenta concentrações de Zn que para a maioria dos pontos são baixas. Relativamente aos valores guia recomendados (CSST, 2003) o Zn está abaixo do valor de TEC.

Zircónio (Zr)

A figura 5.52 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Zr e a variação dos teores com a distância para as duas frações analisadas.

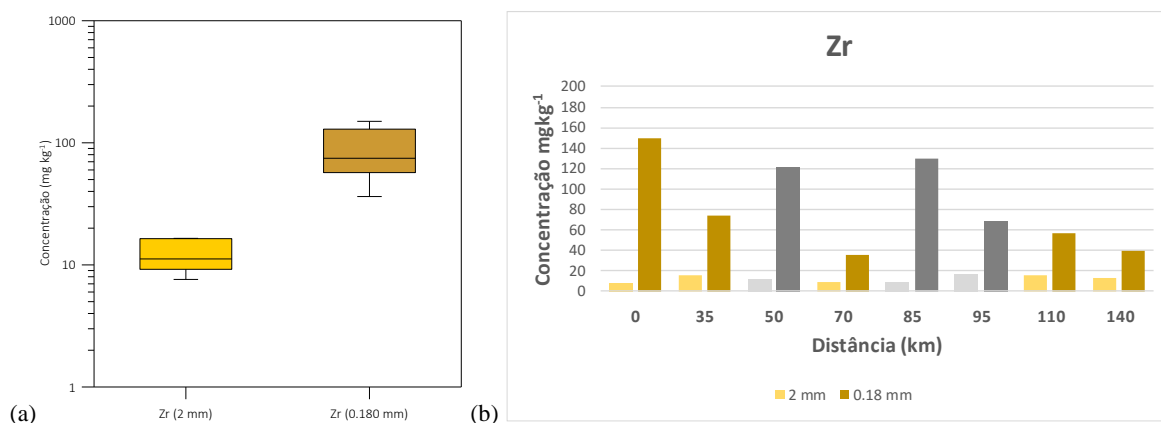


Figura 5.52 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Zr; e (b) variação dos teores com a distância (a tons de castanho apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo; tons mais claros dizem respeito à fração <2 mm e os mais escuros à fração <0,180 mm).

A análise das tabelas 4.2 e 4.3 assim como a observação da figura 5.52a mostra que se trata de uma distribuição do tipo amodal sendo assimétrica negativa para a fração <2 mm e assimétrica positiva para a fração <0,180 mm. Comparativamente, verifica-se que a fração <0,180 mm apresenta concentrações em Zr superiores às da fração <2 mm. Os valores registados variaram entre 7,6 e 16,5 mg kg⁻¹ na fração <2 mm e entre 36,3 e 149,9 mg kg⁻¹ para a fração <0,180 mm. Verifica-se também que o valor da mediana para os resultados obtidos na fração <0,180 mm é 5,9 vezes superior ao da fração <2 mm. A análise da variação das concentrações da variável Zr ao longo do perfil do rio mostra que nas duas frações as concentrações elevadas deste elemento estão associadas ao ponto 1. Verifica-se também que os afluentes contribuem para o aumento das

concentrações de Zr ao longo do rio Monapo. De acordo com o valor de referência (256 mg kg^{-1}) proposto por Reimann & Caritat (1998), o rio Monapo apresenta baixas concentrações deste elemento.

5.2 Águas de superfície

Potencial hidrogeniônico (pH)

A figura 5.53 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável pH e a variação dos seus valores com a distância. A análise dos resultados mostra que os dados apresentam uma distribuição unimodal assimétrica negativa. Os valores registados variaram entre 7,8 e 8,1.

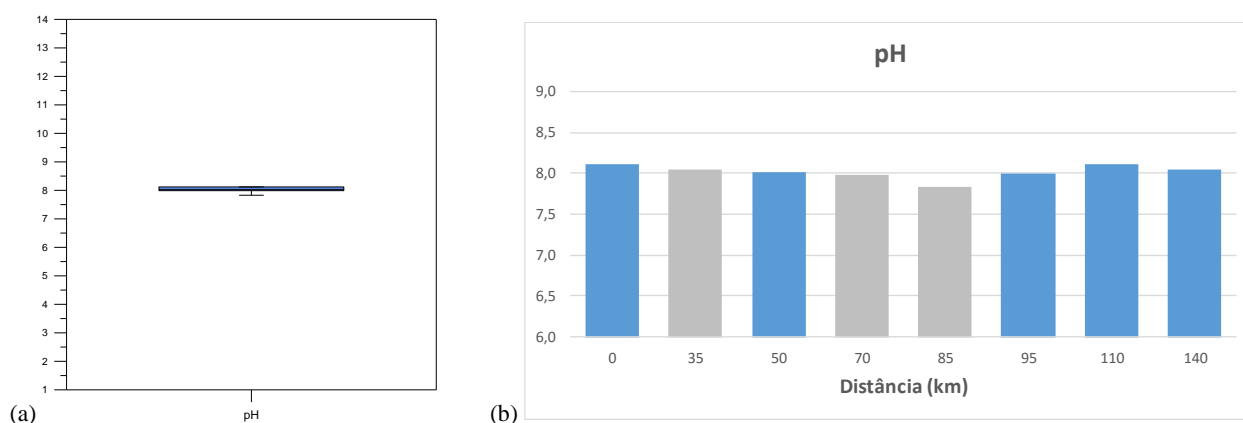


Figura 5.53 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável pH e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação dos valores de pH com a distância (Figura 5.53b) indica que as águas apresentam um carácter neutro a ligeiramente alcalino, sendo nos pontos 1 e 7 que os valores de pH são mais elevados (8,1).

Condutividade elétrica (C.E.)

A figura 5.54 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável C.E. e a variação dos valores com a distância. Da observação dos resultados verifica-se, que se trata duma distribuição do tipo assimétrica negativa. Os valores registados variaram entre 168 a $563 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Da análise da variação dos valores de condutividade com a distância (Figura 5.54b) verifica-se que o valor mais elevado foi registado no ponto 3 ($563 \mu\text{S cm}^{-1}$). O afluente Meconta apresenta um valor de condutividade relativamente baixo quando comparado com os valores registados nas restantes amostras.

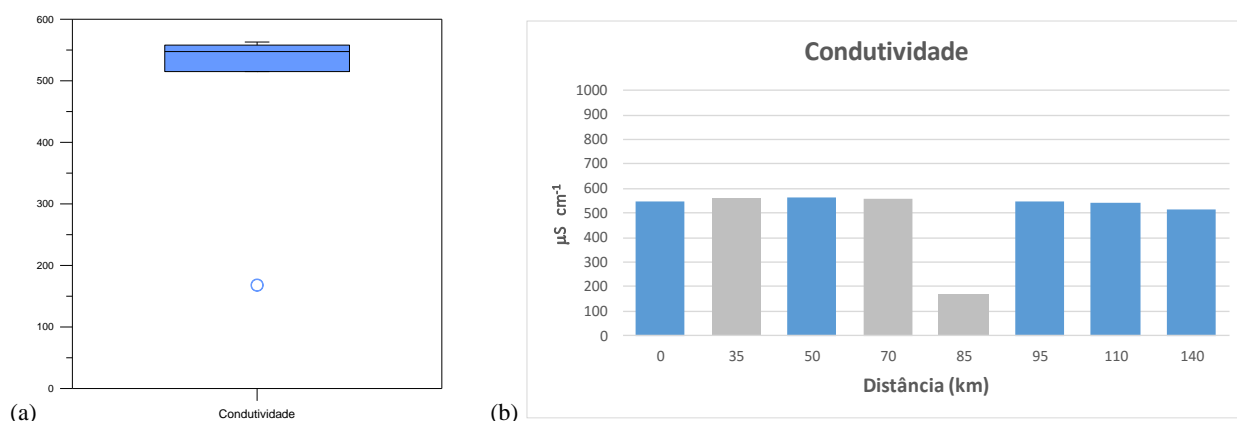


Figura 5.54 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável condutividade e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Arsénio (As)

A figura 5.55 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável As e a variação dos seus teores com a distância. Da observação dos valores da tabela 4.10 e da figura 5.55a verifica-se que se trata de uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa, com os valores a variarem entre 0,11 e 0,28 $\mu g\ L^{-1}$.

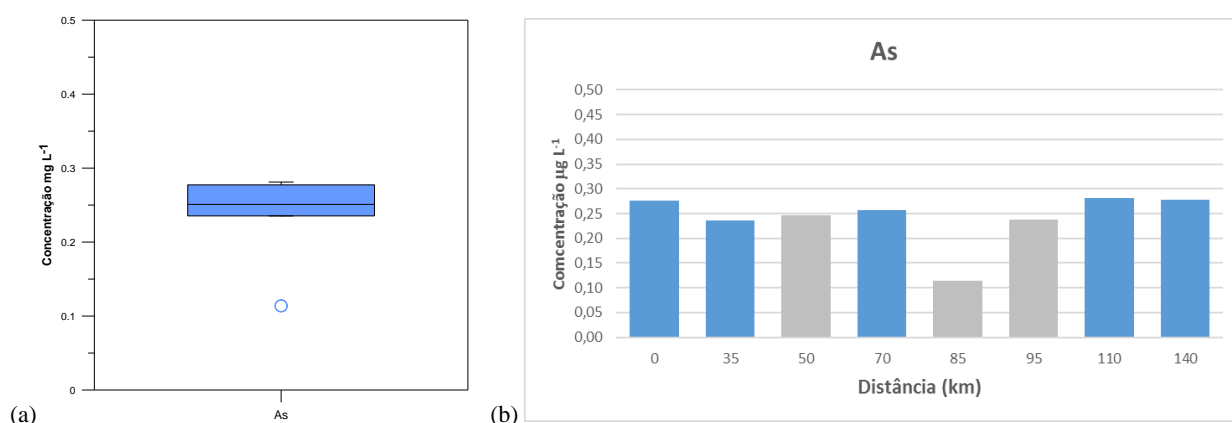


Figura 5.55 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável As e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de As ao longo do perfil (Figura 5.55b) mostra que a concentração mais elevada foi registada no ponto 7 (0,28 $\mu g\ L^{-1}$). Observa-se que o contributo dos diferentes afluentes para a variação da concentração de As nas águas superficiais no rio Monapo não é significativa. De acordo com o valor de referência (4 $\mu g\ L^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações relativamente baixas em As. O valor de referência para águas de consumo proposto pela WHO é de 10 $\mu g\ L^{-1}$.

Bário (Ba)

A figura 5.56 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Ba e a variação dos seus teores com a distância. Da observação dos valores da tabela 4.10 e da figura 5.56a, conclui-se que se trata de

uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa, cujos teores variaram entre 26,9 e 67,9 $\mu\text{g L}^{-1}$.

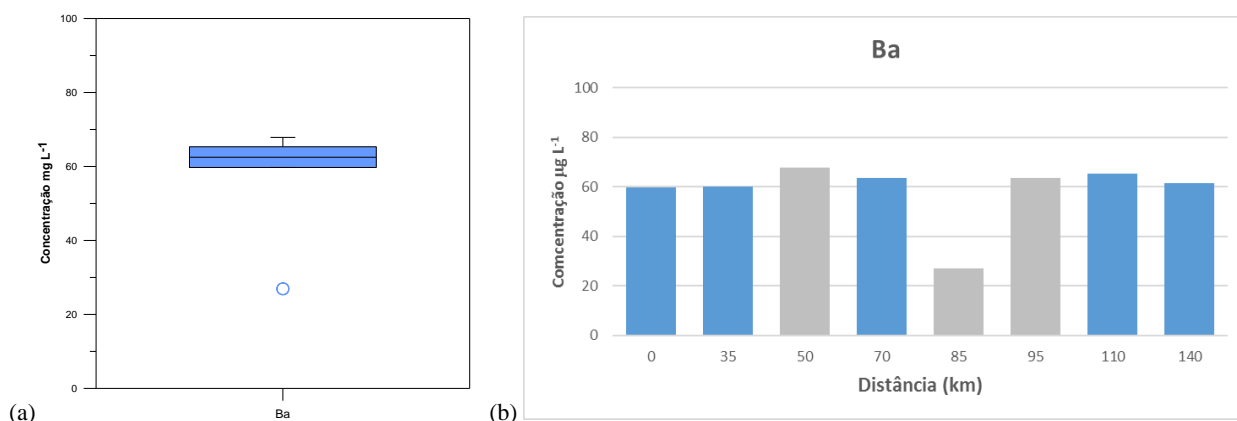


Figura 5.56 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ba e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Da análise da variação das concentrações de Ba com a distância (Figura 5.56b), verifica-se que maior concentração foi observada no ponto 3 (67,9 $\mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência (20 $\mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), constata-se que o rio Monapo e os seus afluentes apresentam na globalidade concentrações cerca de 3 vezes superiores a este valor.

Cálcio (Ca)

A figura 5.57 mostra o diagrama de extremos e quartis do Ca e a variação dos teores com a distância.

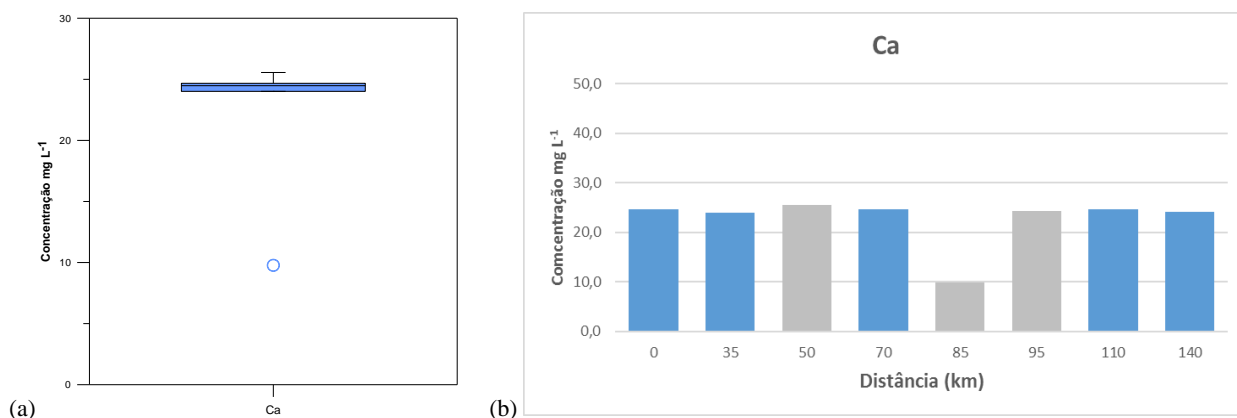


Figura 5.57 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ca e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Da observação da tabela 4.10 e da figura 5.57a pode verificar-se, que se trata de uma distribuição amodal assimétrica negativa. Os valores registados variam entre 9,8 e 25,6 mg L^{-1} e ao longo do perfil a variação das concentrações de Ca (Figura 5.57b), mostra que a maior concentração foi observada no ponto 3 (25,6 mg L^{-1}). De acordo com o valor de referência (18 mg L^{-1}) proposto por

Reimann & Caritat (1998) para águas de superfície, constata-se que o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações de Ca dentro do intervalo de valores típicos para águas de corrente.

Cádmio (Cd)

A figura 5.58 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Cd e a variação dos seus teores com a distância. Da observação da tabela 4.10 e da figura 5.58a constata-se que se trata de uma distribuição do tipo amodal assimétrica positiva. Os valores variaram de 0 a $0,01 \mu\text{g L}^{-1}$.

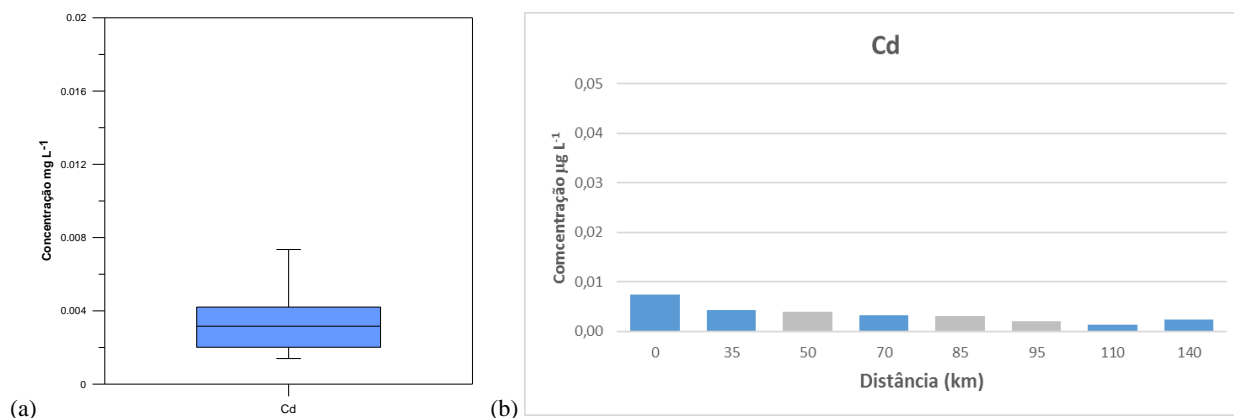


Figura 5.58 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cd e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registradas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de Cd com a distância (Figura 5.58b) mostra que maior concentração foi observada no ponto 1 ($0,01 \mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência ($0,02 \mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998) para águas de superfície, constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações relativamente baixas de Cd.

Cloro (Cl)

A figura 5.59 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Cl e a variação dos seus teores com a distância. Da observação da tabela 4.10 e da figura 5.59a verifica-se que se trata de uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa. Os valores registados variaram entre 16,7 e $38,7 \text{ mg L}^{-1}$.

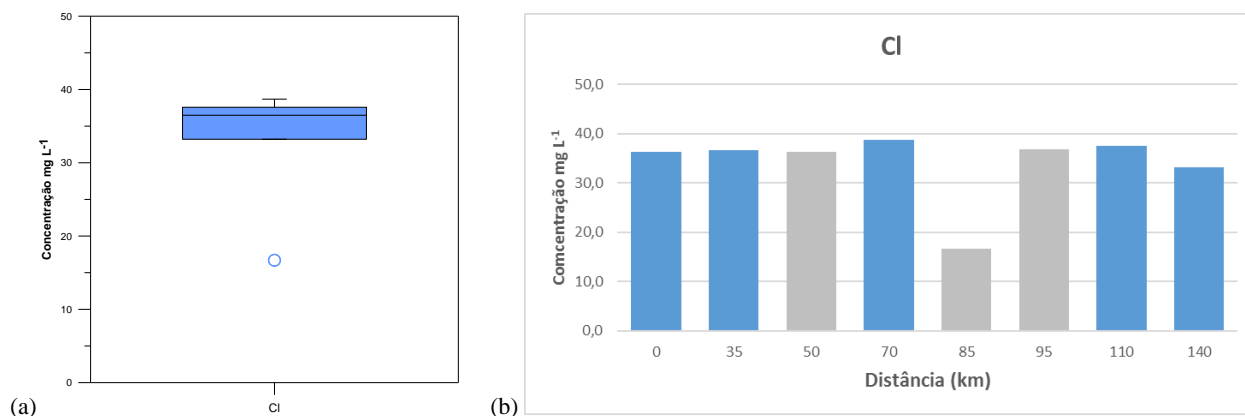


Figura 5.59 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cl e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registradas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Da análise da variação das concentrações da variável Cl com a distância (Figura 5.59b) verifica-se que maior concentração foi observada no ponto 4 ($38,7 \text{ mg L}^{-1}$) e a mais baixa no ponto 5. De acordo com o valor de referência (8 mg L^{-1}) proposto por Reimann & Caritat (1998) para águas de superfície, constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de Cl que são cerca de 4 vezes acima do valor proposto por estes autores.

Cobalto (Co)

A figura 5.60 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Co e a variação dos seus teores com a distância. Da observação da tabela 4.10 e figura 5.60a constata-se que se trata de uma distribuição amodal assimétrica negativa, cujos teores registados variam entre $0,04$ e $0,12 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$.

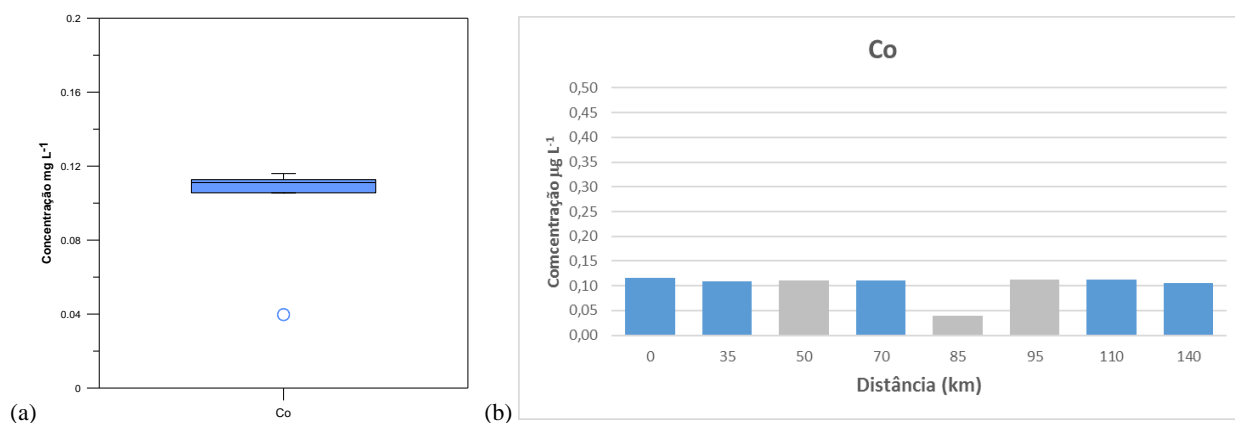


Figura 5.60 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Co e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de Co com a distância (Figura 5.60b), mostra que a concentração mais elevada é registada no ponto 1 ($0,12 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência proposto ($0,2 \text{ mg L}^{-1}$) por Reimann & Caritat (1998), para águas de superfície, constata-se que o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações abaixo ou sensivelmente próximas dos valores típicos para este tipo de águas.

Crómio (Cr)

A figura 5.61 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Cr e a variação dos seus teores com a distância. Da observação da tabela 4.10 e da figura 5.61a verifica-se que a distribuição é do tipo amodal assimétrica negativa. Os valores registados variam entre $0,09$ e $0,17 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$.

Da análise das variações das concentrações da variável Cr com a distância (Figura 5.61b) verifica-se que a maior concentração foi observada no ponto 3 ($0,17 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência ($0,7 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas de superfície, constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações abaixo deste valor.

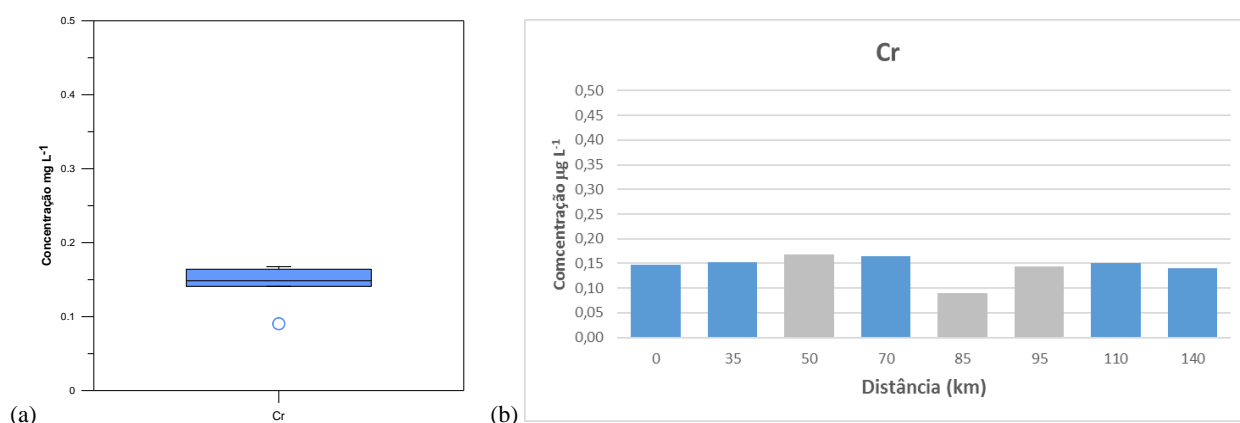


Figura 5.61 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cr e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Cobre (Cu)

A figura 5.62 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Cu e a variação dos seus teores com a distância.

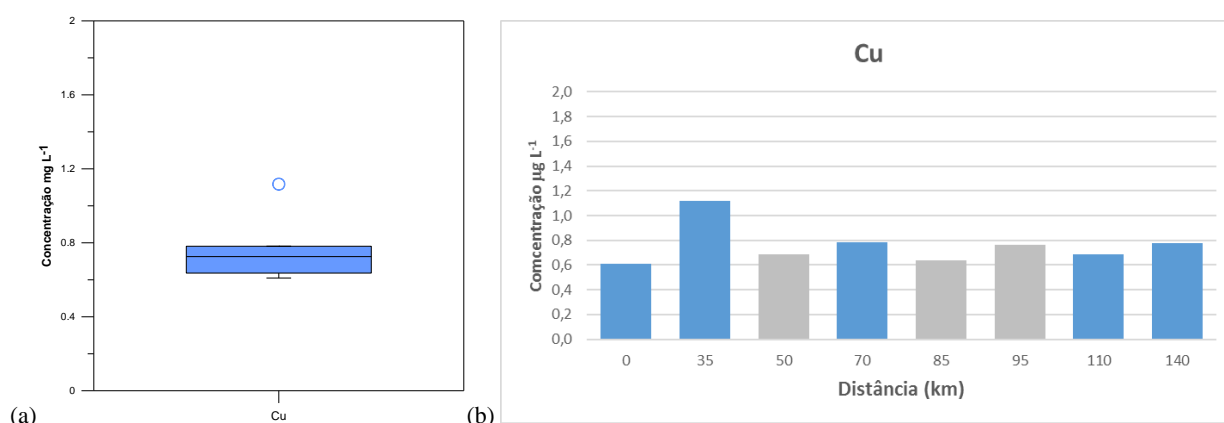


Figura 5.62 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Cu e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A observação da tabela 4.10 e da figura 5.62a mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica positiva, com os teores a variarem entre 0,61 e 1,1 $\mu\text{g L}^{-1}$.

A análise da variação das concentrações de Cu ao longo do perfil do rio principal (Figura 5.62b), mostra que a maior concentração foi observada no ponto 2 (1,1 $\mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência (3 $\mu\text{g L}^{-1}$) proposto de Reimann & Caritat (1998), para águas de superfície, o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações relativamente baixas de Cu.

Ferro (Fe)

A figura 5.63 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Fe e a variação dos seus teores com a distância. A observação da tabela 4.10 e da figura 5.63a mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica positiva. Os valores registados variaram entre 0,46 e 2,1 $\mu\text{g L}^{-1}$.

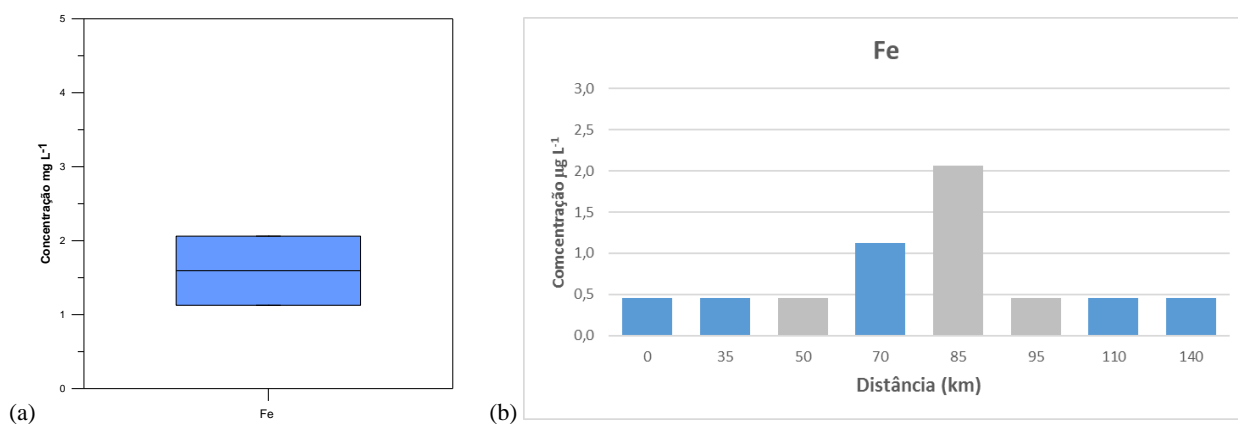


Figura 5.63 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Fe e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de Fe com a distância (Figura 5.63b) mostra que a concentração mais elevada foi observada no ponto 5 ($2,1 \mu\text{g L}^{-1}$), relativa ao afluente Mugica. Para este elemento, as concentrações estiveram abaixo dos limites de deteção em cerca de 75% das amostras. De acordo com o valor de referência ($40 \mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas de superfície, o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações muito baixas em Fe.

Potássio (K)

A figura 5.64 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável K e a variação dos seus teores com a distância. A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.64a mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa, cujos teores variam entre 2,7 e 4,1 mg L^{-1} .

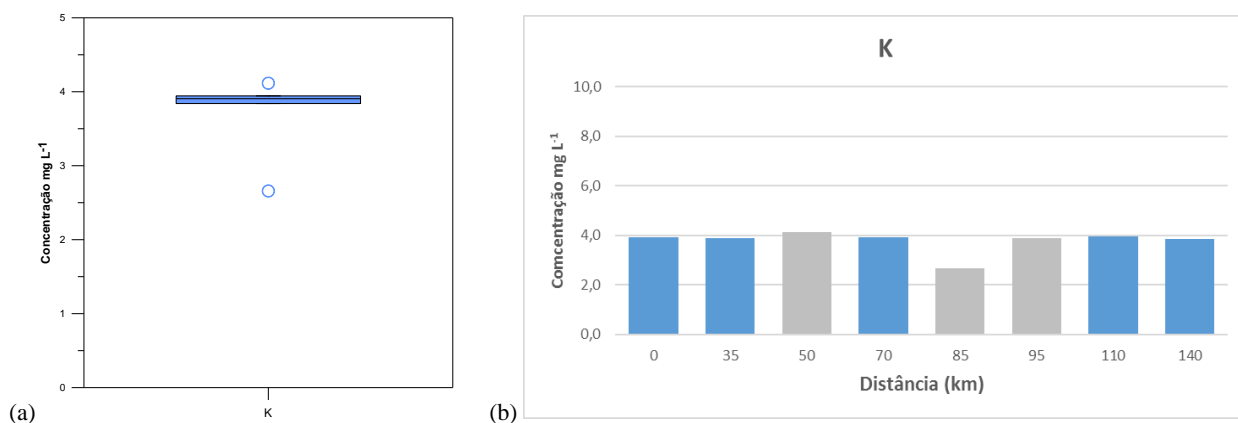


Figura 5.64 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável K e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de K (Figura 5.64b), indica que a concentração mais elevada em foi registada no ponto 3 ($4,1 \text{ mg L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência ($2,3 \text{ mg L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998) para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo e

seus afluentes apresentam concentrações ligeiramente mais elevadas de K, mas dentro dos padrões usuais deste elemento para águas deste tipo.

Magnésio (Mg)

A figura 5.65 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Mg e a variação dos seus teores com a distância. A observação da tabela 4.10 e da figura 5.65a mostra que os dados a distribuição do tipo amodal assimétrica negativa. Os valores registados variaram entre 3,6 e 21,7 mg L⁻¹.

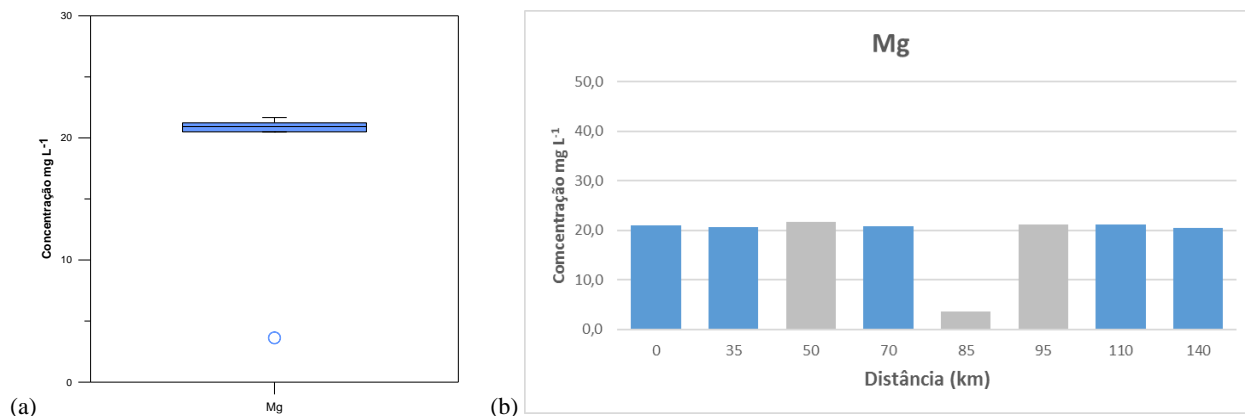


Figura 5.65 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mg e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise das variações das concentrações da variável Mg com a distância (Figura 5.65b) indica que a concentração mais elevada foi observada no ponto 3 (21,7 mg L⁻¹). De acordo com o valor de referência (4,1 mg L⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo e dois dos seus afluentes apresentam concentrações significativamente elevadas de Mg.

Manganês (Mn)

A figura 5.66 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Mn e a variação dos seus teores com a distância.

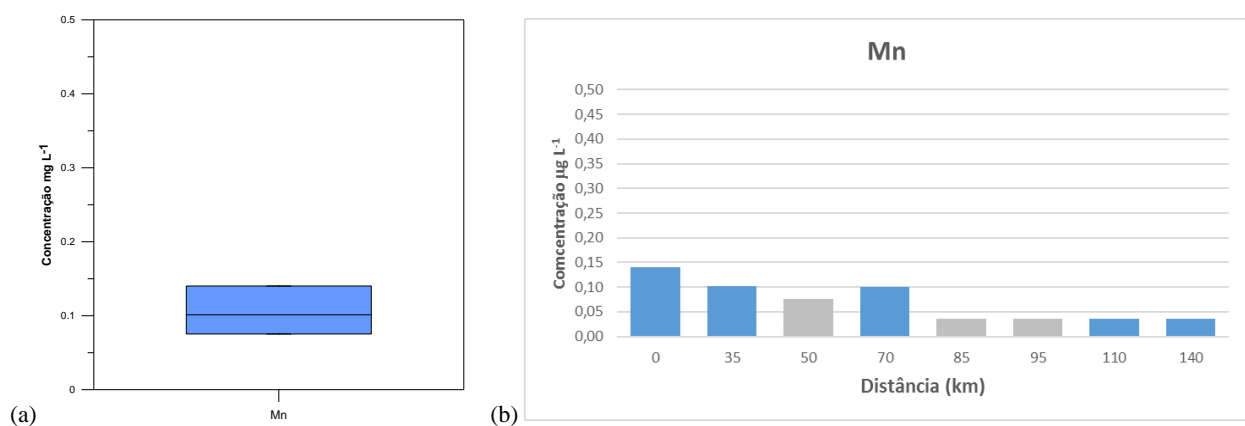


Figura 5.66 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mn e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.66a mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica positiva. Os valores registados variaram entre 0,04 e 0,14 $\mu\text{g L}^{-1}$.

A análise da variação das concentrações de Mn ao longo do perfil (Figura 5.66b), mostra que concentração mais elevada foi observada no ponto 1 (0,14 $\mu\text{g L}^{-1}$). Para este elemento, as concentrações estiveram abaixo dos limites de deteção em 50% das amostras e, de acordo com o valor de referência (4 $\mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações Mn abaixo dos valores propostos por estes autores.

Molibdénio (Mo)

A figura 5.67 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Mo e a variação dos seus teores com a distância. A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.67a mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa, cujos teores variam entre 0,33 e 2,0 $\mu\text{g L}^{-1}$.

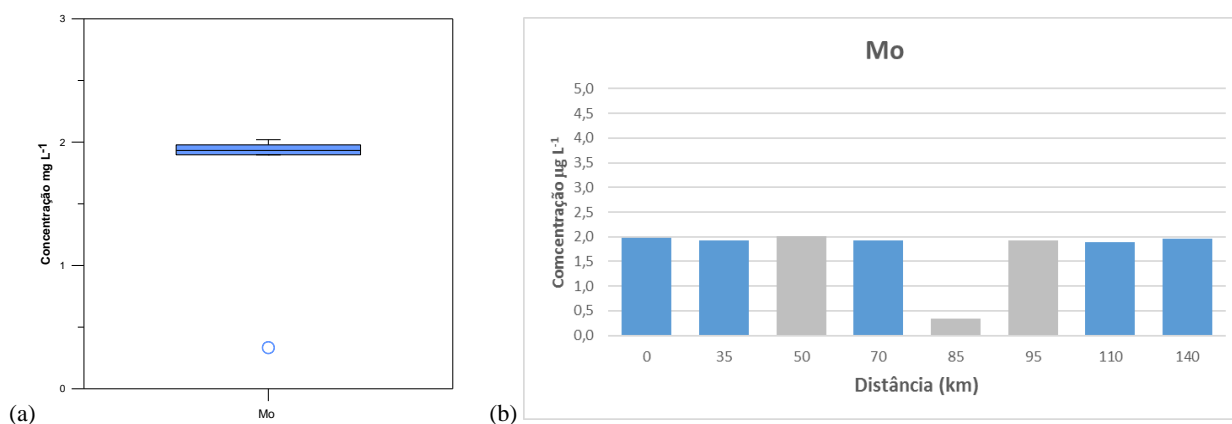


Figura 5.67 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Mo e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de Mo com a distância (Figura 5.67b) mostra que a concentração mais elevada foi observada no ponto 3 (2,0 $\mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência (0,5 $\mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo e de dois dos seus afluentes apresentam concentrações relativamente mais elevadas em Mo.

Sódio (Na)

A figura 5.68 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Na e a variação dos seus teores com a distância. A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.68a mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa. Os valores registados variam entre 17,0 e 59,9 mg L^{-1} . A análise das variações das concentrações de Na ao longo do perfil do

rio principal (Figura 5.68b) mostra que a concentração mais elevada foi observada no ponto 3 (59,9 mg L⁻¹).

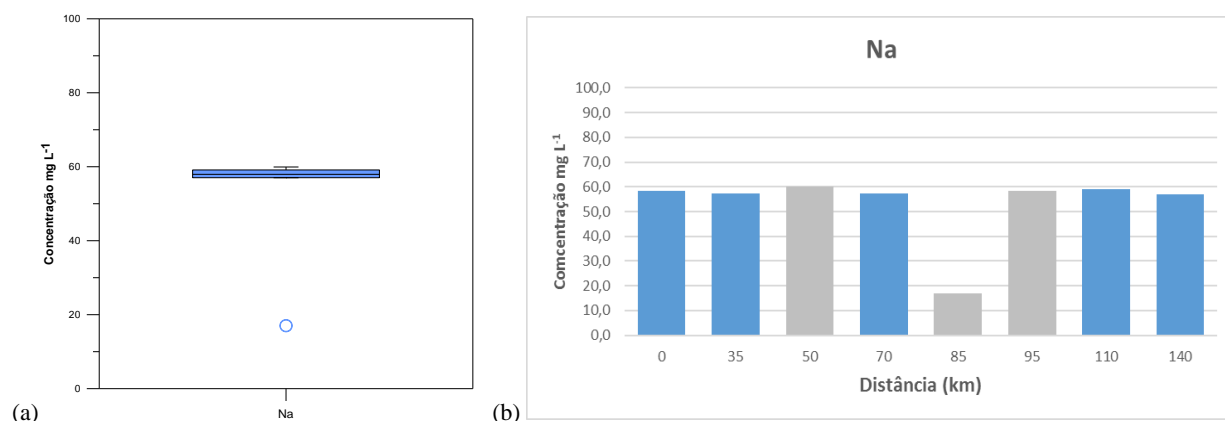


Figura 5.68 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Na e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

De acordo com o valor de referência (6,1 mg L⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações de Na muito acima dos valores propostos pelos autores.

Níquel (Ni)

A figura 5.69 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável Mn e a variação dos seus teores com a distância. A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.69a mostra os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa, com teores a variarem entre 0,40 e 0,63 µg L⁻¹. A análise da variação das concentrações de Ni ao longo do perfil (Figura 5.69b) indica que a concentração mais elevada foi observada no ponto 2 (0,63 µg L⁻¹). De acordo com o valor de referência (0,3 µg L⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações que se podem considerar dentro dos padrões usuais de teores para águas de superfície.

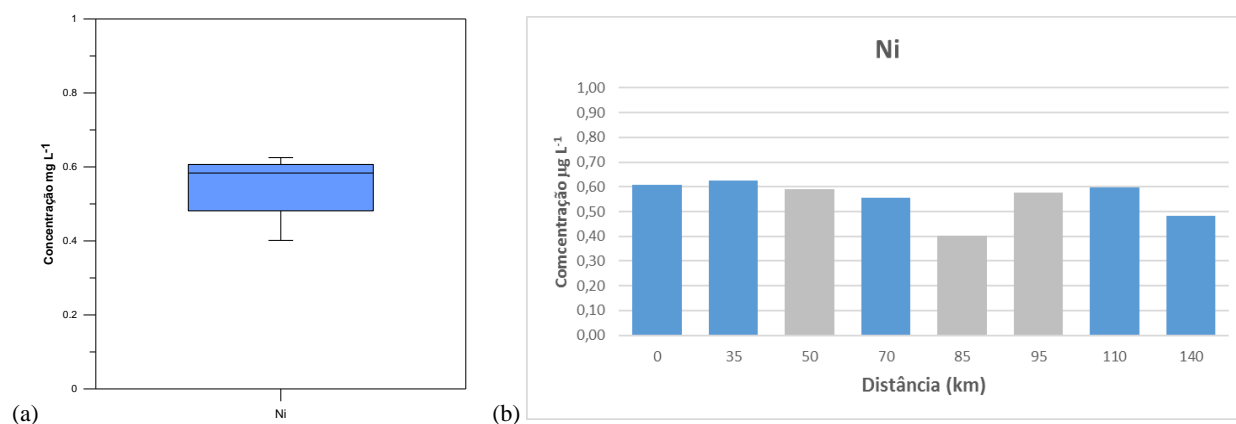


Figura 5.69 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável Ni e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Sulfato (SO_4)

A figura 5.70 apresenta o diagrama de extremos e quartis da variável SO_4 e a variação dos seus teores com a distância. A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.70 mostra que os dados apresentam uma distribuição do tipo amodal assimétrica negativa. Os valores registados variam entre 0,3 e 20,5 mg L^{-1} .

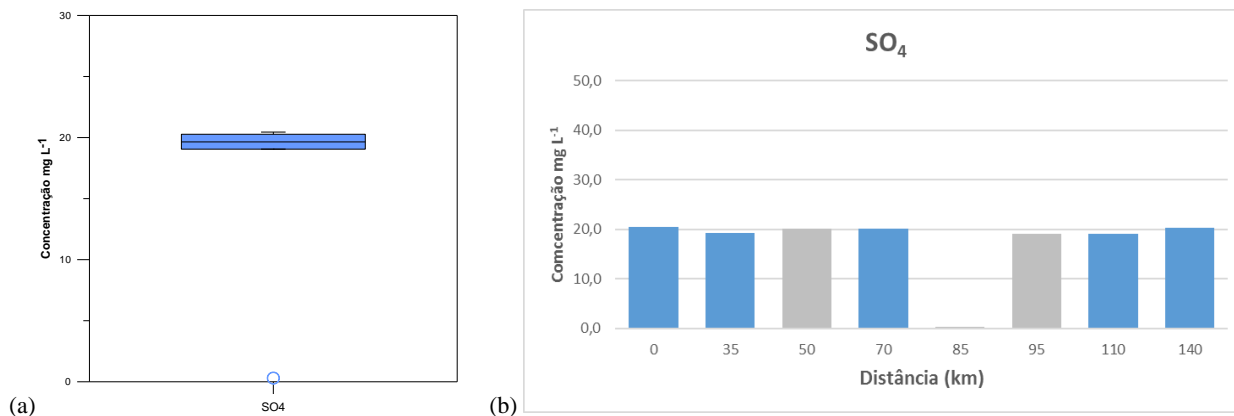


Figura 5.70 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável SO_4 e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de SO_4 com a distância (Figura 5.70b) mostra que a concentração mais elevada em SO_4 foi observada no ponto 1 (20,5 mg L^{-1}), embora os teores sejam muito similares para a maioria dos pontos amostrados. Assumindo o valor de 0,2 mg L^{-1} de SO_4 como valor de referência por conversão do valor de S em águas superficiais (Reimann & Caritat, 1998), podem considerar-se que os teores de SO_4 são significativamente superiores aos apresentados por estes autores.

Tálio (Tl)

A figura 5.71 apresenta o diagrama de extremos e quartis do Tl e a variação dos seus teores com a distância.

A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.71a mostra que os dados obtidos apresentam uma distribuição amodal assimétrica negativa, cujos valores registados variaram de 0 a 0,01 $\mu\text{g L}^{-1}$. A análise da variação das concentrações de Tl com a distância (Figura 5.71a) indica que a concentração mais elevada foi observada no ponto 6 (0,01 $\mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência (0,04 $\mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo e seus afluentes apresentam concentrações de Tl dentro do intervalo de valores usuais para águas de superfície.

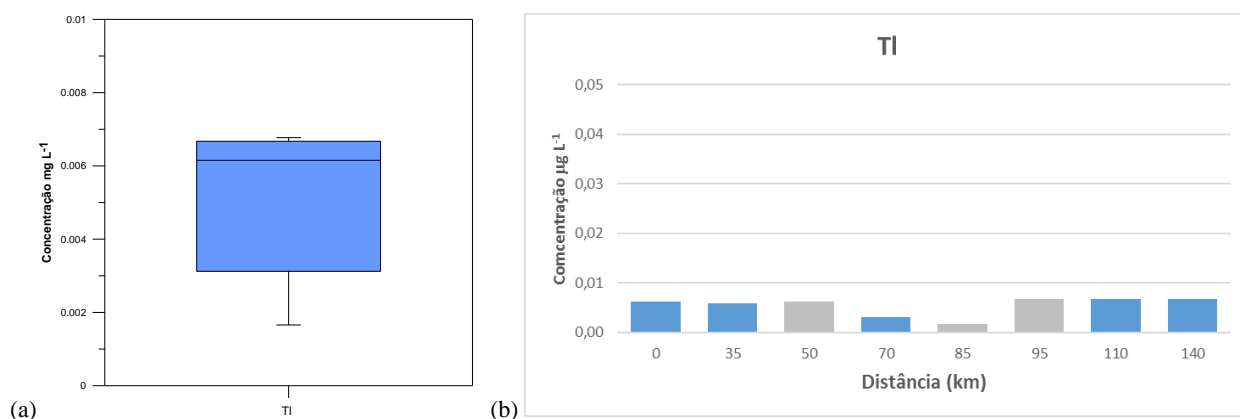


Figura 5.71 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável TI e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Urânio (U)

A figura 5.72 apresenta o diagrama de extremos e quartis do U e a variação dos seus teores com a distância. A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.72a mostra que os dados obtidos apresentam uma distribuição amodal assimétrica negativa. Os valores registados variam entre 0,03 e 1,0 µg L⁻¹.

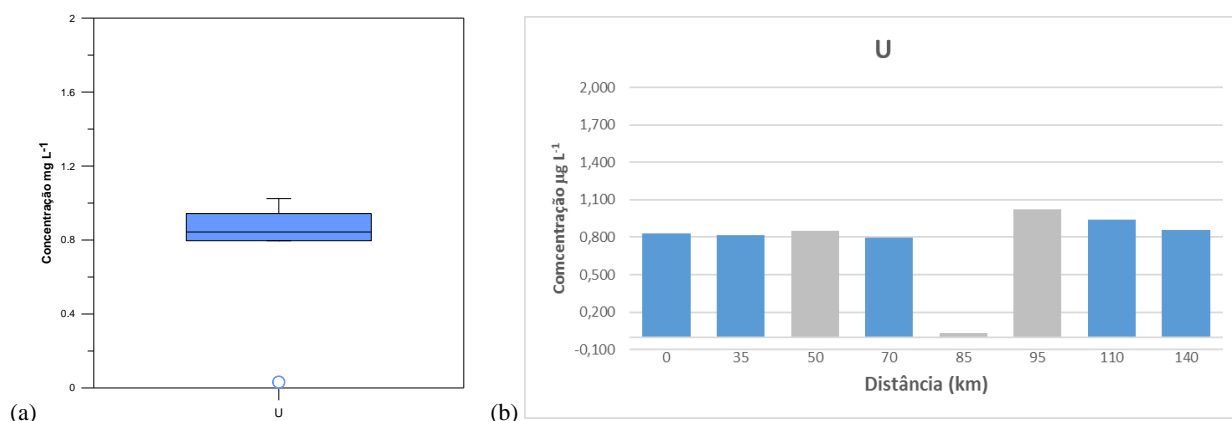


Figura 5.72 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável U e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

A análise da variação das concentrações de U ao longo do perfil do rio (Figura 5.72a), verifica-se que maior concentração foi observada no ponto 6 (1,0 µg L⁻¹). De acordo com o valor de referência (0,04 µg L⁻¹) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo apresenta concentrações mais elevadas de U (excedendo em 20 vezes esse valor).

Vanádio (V)

A figura 5.73 apresenta o diagrama de extremos e quartis do V e a variação dos seus teores com a distância. A análise dos resultados da tabela 4.10 e da figura 5.73a mostra que os dados obtidos apresentam uma distribuição amodal assimétrica negativa e os teores variam entre 0,22 e 4,2 µg L⁻¹.

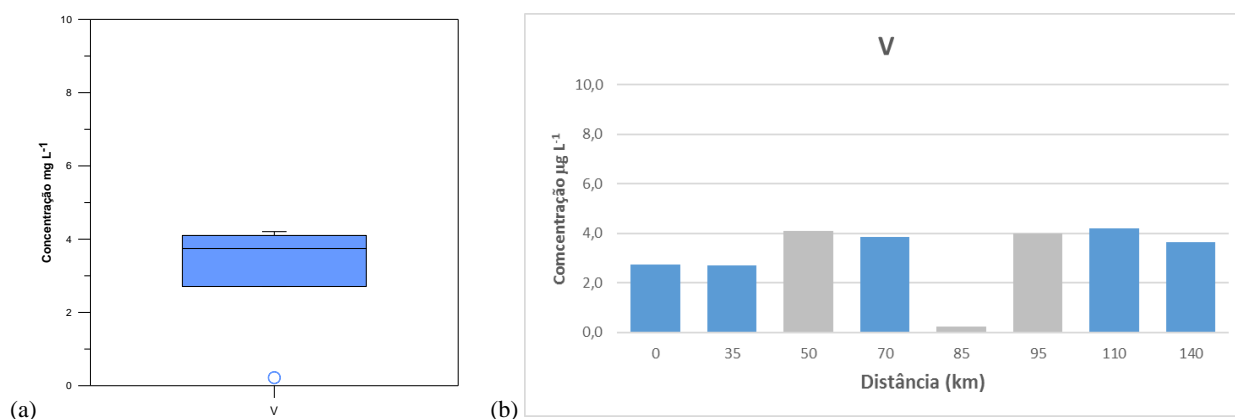


Figura 5.73 – (a) Diagrama de extremos e quartis da variável V e (b) variação dos teores com a distância (a tons de azul apresentam-se as concentrações registadas no rio Monapo e a cinza os contributos dos diferentes afluentes do rio Monapo).

Da análise da variação das concentrações de V com a distância (Figura 5.73b) verifica-se que a maior concentração foi observada no ponto 7 (4,2 $\mu\text{g L}^{-1}$). De acordo com o valor de referência (0,9 $\mu\text{g L}^{-1}$) proposto por Reimann & Caritat (1998), para águas superficiais, constata-se que o rio Monapo apresenta valores 2 a 3 vezes acima do valor proposto.

6. Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo principal efetuar a caracterização geoquímica das águas e dos sedimentos da bacia hidrográfica do rio Monapo, província de Nampula, (Moçambique). Dado a ausência de informação prévia acerca deste local, assim como das dificuldades de acessibilidade a muitos locais e a extensão considerável do perfil do rio principal (rio Monape), optou-se por uma amostragem de baixa densidade de pontos, que pudesse servir de suporte ao desenvolvimento de trabalhos futuros nesta região.

Para tal, foram selecionados 8 locais, ao longo do perfil do rio Monapo, 3 dos quais nos afluentes Musseteti, Mugica e Muecate, onde foram recolhidas amostras de sedimentos de corrente e águas da respetiva linha de água. As amostras foram submetidas a um conjunto de análises. Para os sedimentos (frações <2 mm e $<0,180$ mm) foi analisada a componente mineralógica por DRX e a componente química por ICP-MS, enquanto para as águas foram analisados os parâmetros físico-químicos (pH e condutividade elétrica) e a componente química por ICP-MS e cromatografia iónica. Os dados das amostras de águas e de sedimentos foram posteriormente tratados estatisticamente (análise univariada, bivariada e multivariada).

Os resultados da análise mineralógica dos sedimentos permitiu verificar que estes são constituídos maioritariamente por quartzo, feldspato potássico, plagioclase e, acessoriamente, anfíbolos, micas, hematite e corindo.

Os resultados da análise química evidenciaram que, para a maioria dos elementos analisados e para os diferentes locais amostrados, os teores determinados encontravam-se abaixo ou dentro dos teores tidos como típicos em amostras de sedimentos de corrente. De acordo com os resultados obtidos, pela análise da variação de teores para as duas frações estudadas, observou-se que na bacia hidrográfica do rio Monapo, o ponto 6 apresentou maiores concentrações quando comparado com os restantes pontos, enquanto que as baixas concentrações se observaram para o ponto 4. Ficou evidente a não existência de processos de contaminação inorgânica nos sedimentos nos locais selecionados.

As concentrações na fração $<0,180$ mm revelaram a existência de concentrações significativamente mais elevadas que a fração <2 mm. Este aspeto ficou mais evidenciado para os Elementos de Terras Raras (ETR), os quais (principalmente para os Elementos de Terras Raras leves - ETRL), evidenciaram um forte enriquecimento nestes sedimentos (fração $<0,180$ mm – pontos 1 e 5), pelo que estudos de maior detalhe devem ser realizados no seu sentido de averiguar o seu potencial económico, dadas a suas elevadas cotações nos mercados internacionais.

Em resultado do reduzido número de amostras, a aplicação dos métodos de estatística bi e multivariada não permitem uma forte distinção dos grupos de associações, mas tudo indica estarem associados à componente geológica da região.

As águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Monapo revelaram ser águas levemente alcalinas, com baixos valores de condutividade elétrica, sendo classificadas como águas bicarbonatadas sódio-magnesianas a sódicas. O conteúdo químico permite afirmar que, à semelhança dos sedimentos, não ficaram evidentes quaisquer indícios fortes de contaminação de natureza inorgânica nestas águas. Alguns dos enriquecimentos para alguns dos elementos químicos, em relação aos teores de referência apresentados na bibliografia, são pouco expressivos e muitas vezes estão associados a elementos cujos níveis de toxicidade são muito baixos ou praticamente inexistentes.

De modo geral, o ponto 3 apresentou concentrações sensivelmente maiores quando comparado com os restantes pontos, enquanto que as baixas concentrações se observaram para o ponto 5.

Os resultados aqui obtidos poderão ser utilizados na construção de um padrão geoquímico da região para sedimentos e águas.

Trabalhos futuros

Em termos de trabalhos futuros, seria interessante a elaboração de uma amostragem com uma maior densidade de pontos, particularmente nas zonas que se evidenciaram teores de alguns elementos (ETR) mais anómalos. A elaboração de campanhas de amostragem em períodos distintos do ano (período seco e período húmido) também seria particularmente importante, nomeadamente para as águas, de modo a verificar-se se estes padrões se mantêm ou se são fortemente alterados por efeitos de lixiviação (primeiras chuvas) ou de precipitação (pico do período de calor).

Dado o elevado interesse e valor económico dos ETR seria interessante fazer estudos de mais detalhe em laboratório. Em especial, seria muito relevante efetuar separações mineralógicas (utilizando líquidos densos), e mesmo aplicar métodos de extração química sequencial, de modo a caracterizar as fases-suporte destes elementos e, assim, poder inferir a sua fonte geológica no campo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BC- MINISTRY OF ENVIRONMENT, LANDS AND PARKS (1999). Criteria for managing contaminated sediment in British Columbia (Draft); Prepared pursuant to Section 26(1) of the Waste Management Act.
- BOLFE, E.L., BATISTELLA, M., RONQUIM, C.C., HOLLER, W.A., MARTINHO, P.R.R., CLEMENTE JOSÉ MACIA, C.J., MAFALACUSSER, J. (2011). Base de dados geográficos do “Corredor de Nacala”, Moçambique.
- BOWIE, S.H.U. & THORNTON, I. (1985). Environmental Geochemistry and Health Report to the Royal Society's British National Committee for problems of the Environment.
- BRAGA, B. HESPAHOL, I. CONEJO, J.G.L., MIERZWA, J.C., BARROS, M.T.L, SPENSER, M, PORTO, M, NUCCI, N, JULIANO, N, EIGER, S. (2007) Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável, São Paulo.
- BURT, D.M. (1989). Reviews in Mineralogy. In Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements 21, 259-307.
- CBSQG (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems; Arch. Environ. Contam. Toxicol., 39, 20-31.
- CORYELL, C.G., CHASE, J.W., WINCHESTER, J.W. (1963). A procedure for geochemical interpretation of terrestrial rare-earth abundance patterns. Journal of Geophysical Research 68, 559-566.
- CSST, 2003. Consensus-Based Sediment Quality Guidelines Recommendations for Use & Application Interim Guidance. Developed by Contaminated Sediment Standing Team. , p.35.
- CULLITY, B. D.; STOCK, S. R. (2001) Elements of X-Ray Diffraction, 3 ed, Upper Saddle River: Prentice Hall.
- CUSTODIO, E.G., & LLAMAS, M.R. (1976) Hidrología subterránea. Ediciones Omega S.A., Tomo I, Barcelona, 1157p
- FORMOSO, M. L. L.; NARDI, L. V. S.; HARTMANN, L. A. (1989). Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil. (S. B. De & Geoquímica., Eds.). Rio de Janeiro: CPRM/DNPM.
- FORTESCUE, J.A.C. (1980). Environmental Geochemistry A holistic Approach, Springer-Verlag, New York
- GOUVEIA, M.A., PRUDÊNCIO, M.I., FIGUEIREDO, M.O., PEREIRA, L.C.J., WAERENBORGH, J.C., MORGADO, I., PENA, T., LOPES, A. (1993). Behaviour of REE and other trace and major elements during weathering of granitic rocks, Évora, Portugal. Chemical Geology 107, 293-298.
- GPN - GOVERNO DA PROVÍNCIA DE NAMPULA (2015). Plano Económico e Social e Orçamento de Estado Provincial (PESOP) para o ano de 2014, Nampula.
- GROMET, L.P., DYMEK, R.F., HASKIN, L.A., KOROTEV, R.L. (1984) The “North American shale composite”: Its compilation, major and trace element characteristics. Geochimica et Cosmochimica Acta, 48: 2469-2482.
- GTK Consortium (2008). Geological Surveys in Mozambique (2002-2007), Special Paper 48.
- HEM, J. D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 3rd. ed., U. S. Geological Survey Water-Supply.
- HOUNSLOW, A.W. (1995) Water quality data. Analysis and interpretation. Lewis publishers, USA
- INE (2014). Anuário Estatístico 2014. Instituto Nacional de Estatística, Maputo, Moçambique.
- MARQUES, R.M.S. (2016) Solos superficiais das ilhas vulcânicas de Santiago, Fogo e Brava (Cabo Verde). Padrões de terras raras e outros elementos químicos antes da erupção de 2014-2015 no Fogo. Universidade de Lisboa – Instituto Superior Técnico
- MASUDA, A. (1962). Regularities in variation of relative abundances of lanthanide elements and an attempt to analyse separation-index patterns of some minerals. Journal of Earth Science 10, 173- 187.
- MUCHANGOS, A. (1999). Moçambique: paisagens e regiões naturais. Edição do Autor, Maputo.
- NOAA (1991). Long, E.R. and L.G. Morgan. (1991).The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, Washington.
- ONTARIO; Persaud, D.R.; Jaagumagi, R.; Hayton, A. (1993): Guidelines for the protection and management of aquatic sediments in Ontario; Standards Development Branch; Ontario Ministry of Environment and Energy, Toronto,

Canada

PATINHA, C., 1996. Distribuição de elementos maiores e vestigiais em meios amostrais diferenciados: Contribuição para o conhecimento da influência da actividade antrópica na qualidade da água em fontenários do concelho de Águeda. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro.

PIPER, A.M. (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. American Geophysical Union Transactions, 25: 914-923.

PRUDÊNCIO, M.I. (2009). Ceramic in ancient societies: a role for nuclear methods of analysis. In: Koskinen, Axel N. (Ed.), Nuclear Chemistry: New Research. Nova Science Publishers, Inc., New York, 51-81.

PRUDÊNCIO, M.I., GOUVEIA, M.A., SEQUEIRA BRAGA, M.A. (1995). REE distribution in actual and ancient surface environments of basaltic rocks (central Portugal). Clay Minerals 30, 239-248.

RAMSEY, M.H., THOMPSON, M., BANERJEE, E.K. (1987). Realistic assessment of analytical data quality from inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. Anal Proc, 24, 260-265

REIMANN, C., CARITAT, P. (1998). Chemical elements in the environment. Factsheets for Geochemist and Environmental Scientist, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

ROSE, A.W., HAWKES, H.E & WEBB, J.S (1979). Geochemistry in mineral exploration, second edition, Academic press INC, London.

SAMPAIO J.A., FRANÇA S.C.A. & BRAGA P.F.A. (2007) Tratamento de minérios: práticas laboratoriais, CETEM-MCT, Rio de Janeiro.

SANDERS, L. . (1998). No Title A Manual of Field Hydrogeology. New Jersey: Prentice_Hall, Inc.

SEDIMENT STANDING TEAM (2003)

SKOOG, D.A, WEST, D.M., HOLLER, F.J., CROUCH, S.R. (2006). Fundamentos de Química Analítica, Editora Thomson, tradução da 8ª edição.

STIFF, H.A.JR. (1951) The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Journal of Petroleum Technology, 3(10): 15-17

TERROSO, D.L.G.F. (2005) Argilas / Lamas e Águas Termiais das Furnas (Açores): Avaliação das Propriedades Físicas e Químicas relevantes para a utilização em Peloterapia . Dissertação de Mestrado em Minerais e Rochas Industriais, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro.

VASCONCELOS, L. & JAMAL, D. (2010). A nova geologia de Moçambique. In: D. Flores, M. Marques, (Eds). X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

VASCONCELOS, L. (2014). Breve apresentação sobre os recursos geológicos de Moçambique.

WEISS, J. (2004). Handbook of Ion Chromatography, Third, Completely Revised and Enlarged Edition. Wiley-VCH Verlag GMBH & GO. KGAA, Weinheim.

Paginas web consultadas

<http://www.mindat.org/xpic.php?fname=0934050001345973416.jpg>, documento consultado em 02.03.2016

<http://www.sina.gov.mz/provincia> - documento consultado em 22.03.2016.

<http://www.ine.gov.mz/estatisticas/publicacoes/anuario/nacionais/anuario-estatistico-2014/view> - documento consultado em 22.03.2016

<http://crustal.usgs.gov/laboratories/icpms/intro.html> - documento consultado em 01.04.2016.

http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=4642

<http://mapas.cnpm.embrapa.br/mocambique/mapa.html> - documento consultado em 23.02.2016)

[https:// ds.lclark.edu/sge/2012/11/15/river-dynamics-fluvial-system-fundamentals/](https://ds.lclark.edu/sge/2012/11/15/river-dynamics-fluvial-system-fundamentals/).

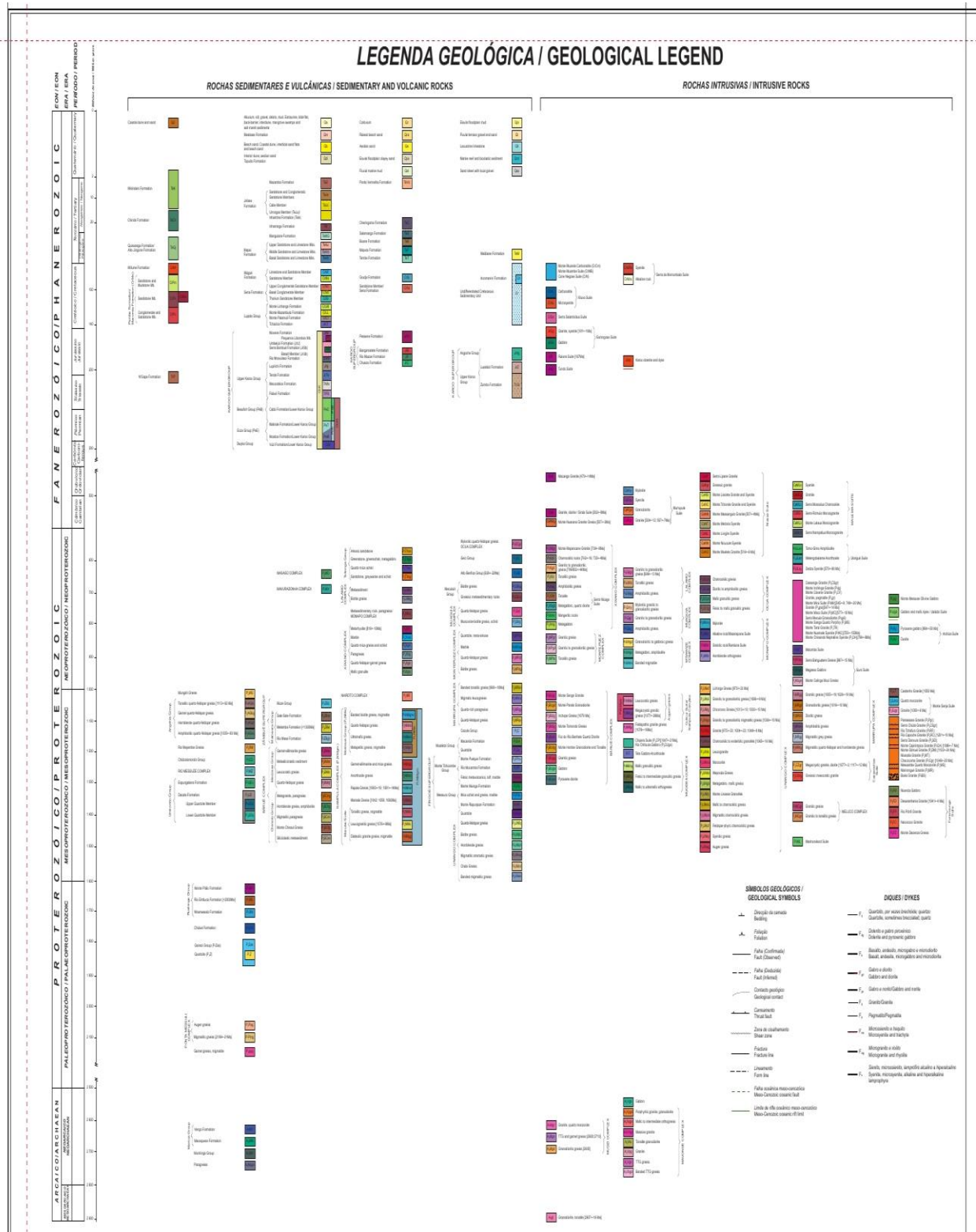
<http://www.atlasrenovaveis.co.mz/pt-pt/conteudo/recurso-hidrico>

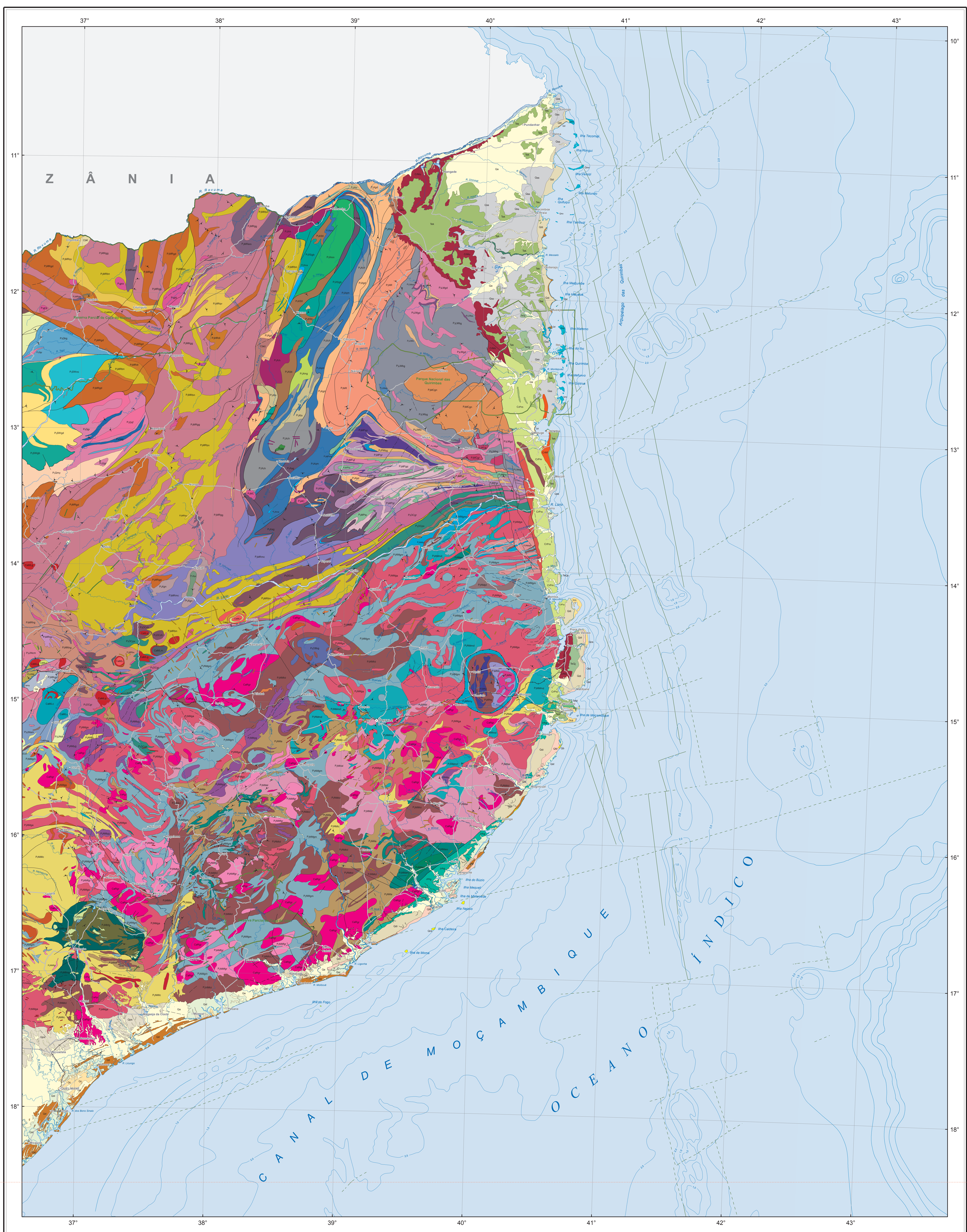
<http://www.maplibrary.org>

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:BraggPlaneDiffraction.svg>

8. ANEXOS

ANEXO 1





ROCHAS INTRUSIVAS / INTRUSIVE ROCKS



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ANEXO 2 – Análise química das amostras de sedimentos de corrente

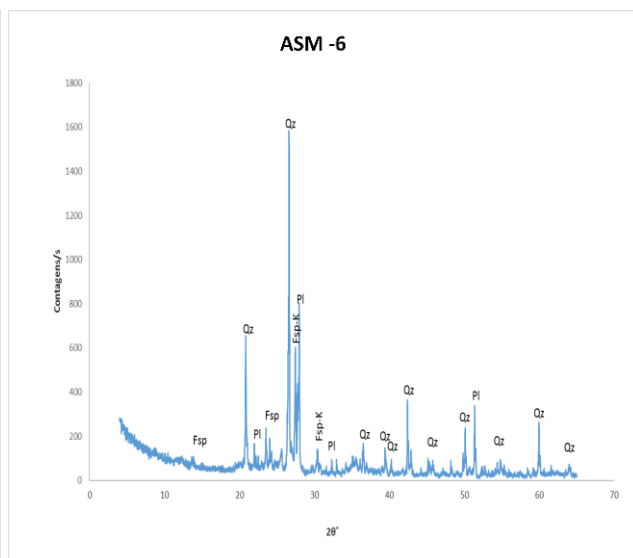
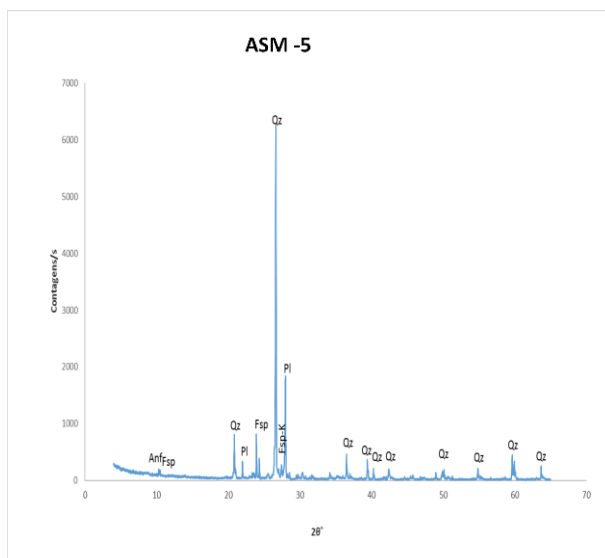
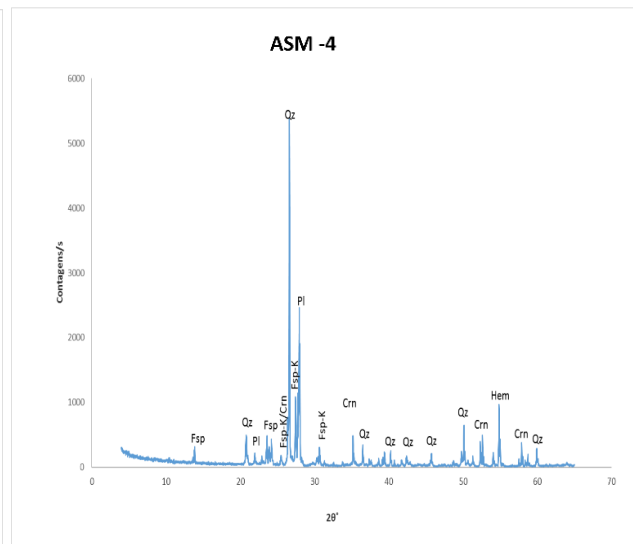
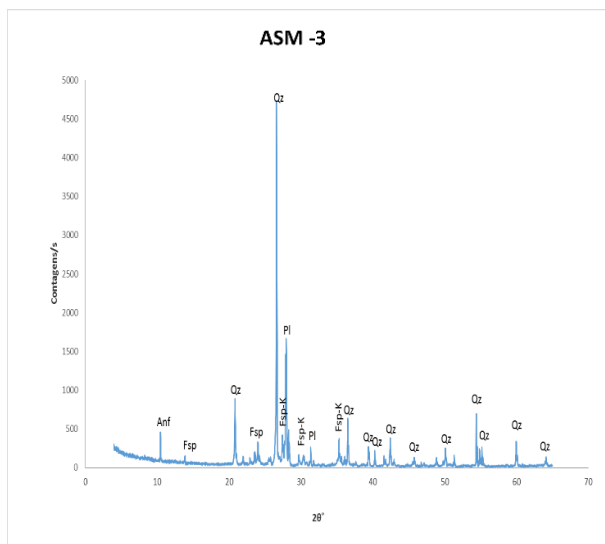
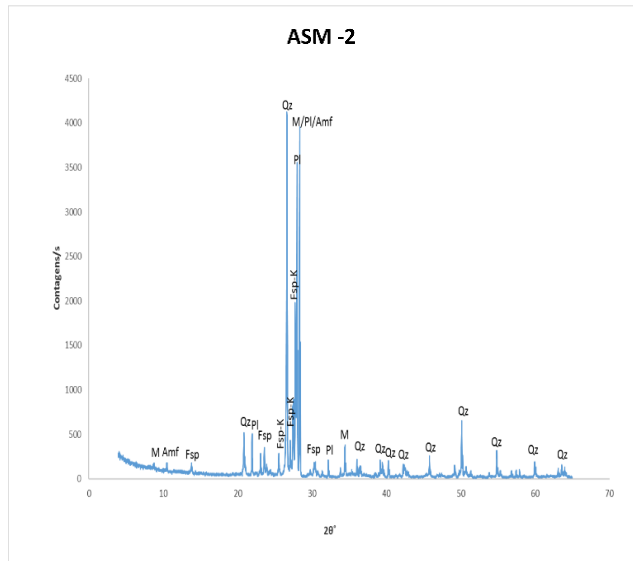
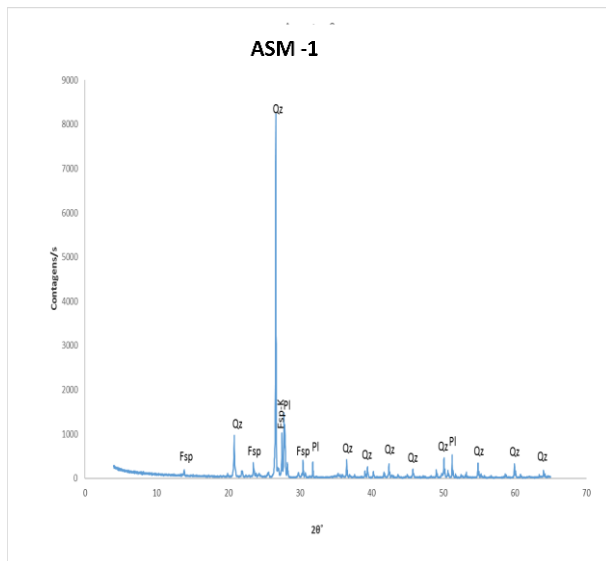
Elem	Unid.	L.D.	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
			Fração <2 mm								Fração <0,180 mm							
Ag	PPB	20	<20	<20	<20	<20	<20	36	<20	<20	48	37	<20	<20	31	64	<20	22
Al	%	0,02	3,04	4,23	3,81	4,10	4,62	5,93	5,63	2,57	5,77	7,24	6,36	6,14	5,83	7,29	7,40	7,61
As	PPM	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	0,6	0,4	0,3	<0,2	0,5	<0,2	0,9	0,9	0,6	<0,2	0,8
Ba	PPM	1	434	515	439	496	524	925	733	427	837	688	585	567	548	938	805	784
Be	PPM	1	<1	1	1	1	1	2	1	<1	<1	2	2	1	1	1	1	2
Bi	PPM	0,04	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	0,07	<0,04	0,07	0,08	<0,04	0,05
Ca	%	0,01	0,66	0,93	0,81	0,86	1,06	1,13	1,47	0,42	1,33	1,79	1,79	1,69	1,75	1,33	2,29	2,01
Cd	PPM	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,04	0,10	0,10	0,13	0,10	0,08	0,14	0,12	0,15
Ce	PPM	0,02	9,73	13,82	6,26	5,94	17,74	26,76	17,32	4,57	646,99	117,38	190,38	29,36	378,45	117,16	78,76	64,84
Co	PPM	0,2	1,0	1,7	1,4	1,2	2,3	6,4	4,0	1,2	4,1	7,7	7,8	4,4	8,6	12,2	9,2	12,2
Cr	PPM	1	2	4	3	3	7	25	12	3	18	26	33	16	39	27	35	40
Cs	PPM	0,1	0,2	0,5	0,4	0,5	0,7	1,1	0,7	0,4	0,5	1,2	0,8	0,6	1,0	1,7	0,8	1,2
Cu	PPM	0,1	1,0	1,5	1,5	1,1	3,0	9,8	3,2	1,7	5,6	6,8	6,2	4,4	10,9	19,6	5,8	10,1
Dy	PPM	0,1	0,2	0,8	0,4	0,3	0,7	1,8	1,0	0,3	10,1	5,6	7,4	2,1	12,5	6,0	3,9	4,1
Er	PPM	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,4	1,2	0,5	0,2	2,4	2,2	3,2	1,1	4,0	2,4	1,7	1,8
Eu	PPM	0,1	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5	0,7	0,6	0,3	2,0	1,5	1,7	0,8	2,7	1,5	1,1	1,3
Fe	%	0,01	0,21	0,39	0,35	0,25	0,53	1,76	0,84	0,32	1,20	1,89	2,62	1,05	2,95	3,45	2,41	2,37
Ga	PPM	0,02	8,01	10,27	9,01	9,74	11,23	13,18	12,72	5,86	14,46	18,21	14,81	14,61	13,07	15,80	14,86	17,18
Gd	PPM	0,1	0,4	1,2	0,5	0,3	1,1	2,2	1,6	0,4	26,2	8,3	13,1	2,5	28,0	10,3	6,2	5,5
Hf	PPM	0,02	0,23	0,56	0,37	0,30	0,28	0,61	0,46	0,48	4,63	2,34	3,76	1,15	4,23	2,10	1,65	1,17
Ho	PPM	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,4	0,2	<0,1	1,2	0,9	1,1	0,4	1,8	0,9	0,6	0,7
In	PPM	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,03	0,01	<0,01	0,03	0,03	0,08	0,03	0,06	0,05	0,02	0,02
K	%	0,01	1,24	2,25	1,89	2,16	1,95	2,34	2,72	1,79	2,58	2,98	2,33	2,30	1,74	2,55	2,33	2,56
La	PPM	0,1	4,6	6,0	3,1	2,8	8,4	12,6	8,5	2,3	310,3	53,6	92,3	12,7	170,8	54,4	35,4	30,1
Li	PPM	0,1	9,9	5,4	5,0	4,9	4,4	6,8	5,6	3,8	10,9	10,9	6,6	7,3	7,0	12,2	6,9	9,7
Lu	PPM	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,4	0,3	0,2	0,3
Mg	%	0,01	0,02	0,07	0,06	0,03	0,11	0,25	0,22	0,02	0,13	0,40	0,49	0,30	0,47	0,46	0,56	0,58
Mn	PPM	1	172	248	239	142	279	523	228	61	837	1333	1587	354	1172	1084	699	796
Mo	PPM	0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	0,08	0,28	0,10	<0,05	0,23	0,33	0,43	0,17	0,53	0,45	0,37	0,43
Na	%	0,001	1,381	1,824	1,605	1,704	2,045	2,045	2,323	0,946	2,424	2,673	2,364	2,514	2,136	2,026	2,638	2,571

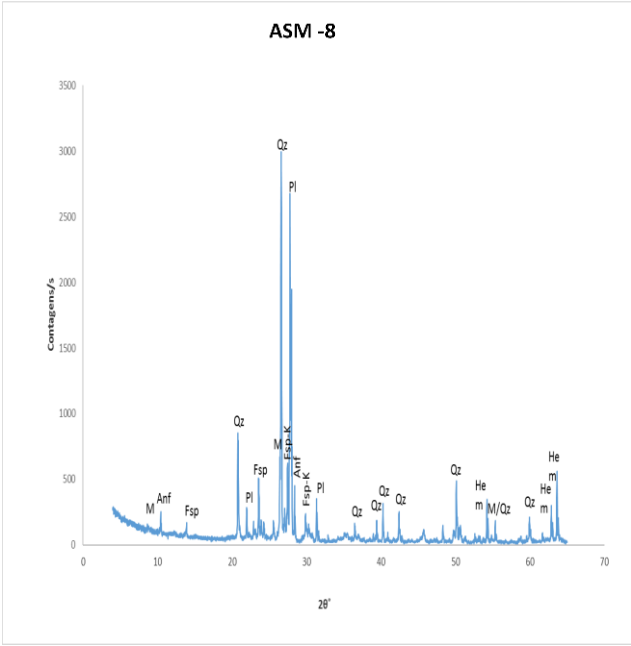
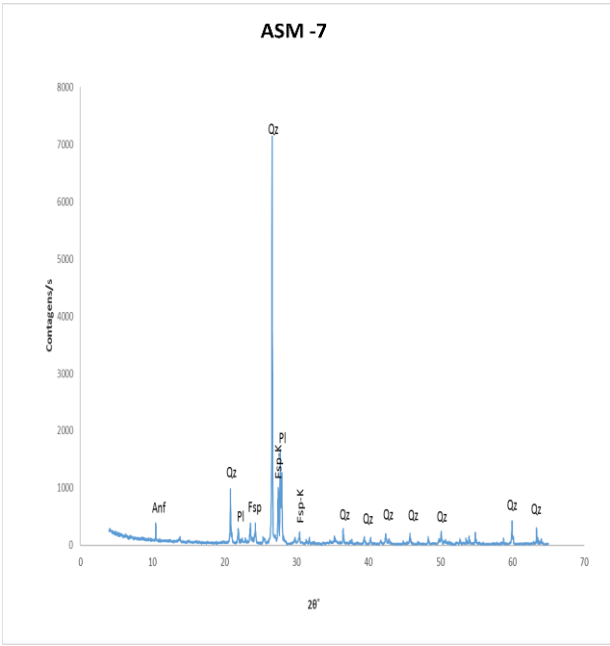
Elem	Unid.	L.D.	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Fração <2 mm											Fração <0,180 mm							
Nb	PPM	0,04	0,39	1,20	1,06	0,52	0,97	3,77	2,28	0,36	9,35	7,75	14,32	3,86	10,79	8,42	9,12	6,72
Ni	PPM	0,1	1,0	2,1	1,8	1,2	3,9	5,4	4,5	1,2	4,1	10,7	10,5	7,1	12,5	11,0	9,9	15,7
P	%	0,001	0,005	0,009	0,006	0,005	0,010	0,021	0,015	0,006	0,048	0,035	0,035	0,018	0,061	0,042	0,038	0,046
Pb	PPM	0,02	11,51	17,93	14,95	16,47	15,55	23,60	20,86	11,69	30,50	25,60	23,39	19,52	19,58	25,40	18,71	22,35
Pr	PPM	0,1	0,9	1,4	0,6	0,6	2,0	3,3	2,0	0,5	74,1	15,0	24,9	3,7	49,4	15,9	10,0	8,0
Rb	PPM	0,1	24,6	58,6	47,5	53,8	47,8	53,8	66,2	47,3	46,3	80,0	52,2	54,7	40,7	67,5	49,8	69,3
Re	PPM	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
S	%	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Sb	PPM	0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,03	0,09	0,05	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,11	0,10	0,10	0,11
Sc	PPM	0,1	0,3	1,0	0,8	0,5	1,4	5,2	2,3	0,5	1,9	6,2	8,8	4,5	7,8	9,3	6,5	7,5
Se	PPM	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sm	PPM	0,1	0,5	1,1	0,6	0,5	1,7	2,4	1,9	0,3	42,8	11,6	16,8	3,2	36,5	13,1	8,1	6,3
Sn	PPM	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	1,0	0,6	0,1	1,4	1,9	2,3	1,2	1,9	2,2	1,3	1,5
Sr	PPM	1	246	236	197	219	248	245	321	144	426	323	270	300	259	259	376	368
Ta	PPM	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,2	<0,1	0,7	0,5	1,0	0,3	0,7	0,5	0,6	0,4
Tb	PPM	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,3	0,1	<0,1	2,5	1,1	1,6	0,4	3,0	1,2	0,7	0,6
Te	PPM	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05
Th	PPM	0,1	1,6	2,6	0,9	0,8	3,6	3,8	2,5	1,0	258,6	31,9	46,8	4,7	81,3	25,4	14,0	15,5
Ti	%	0,001	0,039	0,061	0,074	0,027	0,062	0,286	0,129	0,018	0,850	0,482	1,156	0,211	1,034	0,683	0,738	0,414
Tl	PPM	0,05	0,17	0,34	0,27	0,30	0,25	0,31	0,41	0,24	0,27	0,48	0,29	0,30	0,22	0,36	0,34	0,41
Tm	PPM	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,1	<0,1	0,3	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3	0,2	0,3
U	PPM	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,5	0,9	0,6	0,3	10,5	4,0	5,4	1,0	10,8	3,3	2,1	2,7
V	PPM	1	6	9	9	6	14	37	22	8	34	43	62	29	68	73	63	58
W	PPM	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,1	<0,1	0,3	0,3	0,6	0,1	0,5	0,6	0,3	0,4
Y	PPM	0,1	0,9	3,4	2,0	1,5	3,8	10,2	4,9	1,6	35,0	22,5	30,5	10,3	45,4	26,2	16,1	17,6
Yb	PPM	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	1,1	0,5	0,2	1,6	1,9	2,6	1,0	3,1	2,2	1,5	1,6
Zn	PPM	0,2	3,9	8,6	7,2	5,6	9,1	51,7	13,3	4,1	26,1	39,2	51,6	27,2	47,7	91,3	36,6	39,4
Zr	PPM	0,2	7,6	16,4	11,2	9,5	9,2	16,5	16,1	13,2	149,9	74,7	121,6	36,3	129,4	69,1	57,0	39,5

ANEXO 3 – Análise química das amostras de águas de superfície

Parametro	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8
pH		8,1	8,1	8,0	8,0	7,8	8,0	8,1	8,1
Condutividade	$\mu\text{S cm}^{-1}$	547,0	556,0	563,0	558,0	168,0	548,0	540,0	515,0
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	23,0	23,4	22,8	23,0	22,0	22,6	22,8	23,7
Cl	mg L^{-1}	36,4	36,6	36,4	38,7	16,7	36,8	37,6	33,2
SO4	mg L^{-1}	20,5	19,2	20,1	20,1	0,3	19,1	19,1	20,3
Na	mg L^{-1}	58,4	57,2	59,9	57,5	17,0	58,5	59,1	57,0
K	mg L^{-1}	3,9	3,9	4,1	3,9	2,7	3,9	3,9	3,8
Mg	mg L^{-1}	21,0	20,6	21,7	20,9	3,6	21,1	21,2	20,5
Ca	mg L^{-1}	24,6	24,0	25,6	24,7	9,8	24,3	24,7	24,2
Ag	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Al	$\mu\text{g L}^{-1}$	<1,652	<1,652	<1,652	<1,652	<1,652	<1,652	<1,652	<1,652
As	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,28	0,24	0,25	0,26	0,11	0,24	0,28	0,28
Ba	$\mu\text{g L}^{-1}$	59,73	60,20	67,86	63,40	26,92	63,56	65,34	61,60
Be	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,01	<0,007	<0,007	<0,007	0,01	<0,007	<0,007	<0,007
Cd	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Co	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,12	0,11	0,11	0,11	0,04	0,11	0,11	0,11
Cr	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,15	0,15	0,17	0,16	0,09	0,14	0,15	0,14
Cu	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,61	1,12	0,69	0,78	0,64	0,76	0,69	0,77
Fe	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0,919	<0,919	<0,919	1,13	2,06	<0,919	<0,919	<0,919
Mn	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,14	0,10	0,08	0,10	<0,072	<0,072	<0,072	<0,072
Mo	$\mu\text{g L}^{-1}$	1,98	1,93	2,02	1,93	0,33	1,93	1,90	1,97
Ni	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,61	0,63	0,59	0,56	0,40	0,58	0,60	0,48
Pb	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Sb	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036
Se	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0,301	<0,301	<0,301	<0,301	<0,301	<0,301	<0,301	<0,301
Th	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Tl	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
U	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,83	0,82	0,85	0,80	0,03	1,02	0,94	0,86
V	$\mu\text{g L}^{-1}$	2,75	2,71	4,10	3,86	0,22	3,98	4,21	3,63
Zn	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

ANEXO 4 – Difratomogramas das amostras de sedimentos de corrente.





ANEXO 5 – Matriz de correlação das variáveis em estudo e para as duas frações granulométricas em análise .

	Correlações Sedimentos fração <2 mm																																										
	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	U	Th	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Ca	P	La	Cr	Mg	Ba	Ti	Al	Na	K	W	Zr	Sn	Be	Sc	Y	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb			
Mo	1,00																																										
Cu	.991**	1,00																																									
Pb	.784*	.766*	1,00																																								
Zn	.983**	.986**	.793*	1,00																																							
Ag	.949**	.960**	0,68	.981**	1,00																																						
Ni	.842**	.830*	.841**	.775**	0,65	1,00																																					
Co	.958**	.951**	.883**	.934**	.857**	.923**	1,00																																				
Mn	.908**	.889**	.792**	.907**	.856**	.812*	.858**	1,00																																			
Fe	.985**	.985**	.843**	.975**	.923**	.878**	.988**	.884**	1,00																																		
As	.837**	.862**	0,62	.772**	.709*	.882**	.871**	0,65	.863**	1,00																																	
U	.901**	.909**	.870**	.873**	.778**	.952**	.954**	.840**	.943**	.891**	1,00																																
Th	0,69	.714*	0,65	0,66	0,57	.856**	.738*	.789*	.717*	.741*	.806*	1,00																															
Sr	0,31	0,26	0,60	0,25	0,10	0,62	0,49	0,41	0,37	0,30	0,41	0,55	1,00																														
Cd	.720*	0,65	.738*	0,67	0,61	0,63	0,70	0,64	0,68	0,49	0,62	0,24	0,33	1,00																													
Sb	.970**	.950**	.785**	.924**	.864**	.880**	.965**	.835**	.971**	.875**	.921**	0,63	0,35	.747*	1,00																												
Bi	-0,24	-0,26	-0,49	-0,23	-0,14	-0,39	-0,30	-0,19	-0,29	-0,34	-0,50	-0,17	0,11	-0,43	-0,31	1,00																											
V	.970**	.964**	.851**	.941**	.870**	.922**	.997**	.864**	.992**	.890**	.957**	.739*	0,45	0,69	.979**	-0,30	1,00																										
Ca	0,51	0,46	.825**	0,44	0,27	.818*	0,68	0,57	0,57	0,51	0,68	0,63	.889**	0,60	0,57	-0,33	0,64	1,00																									
P	.920**	.921**	.892**	.899**	.806*	.947**	.989**	.849**	.967**	.871**	.973**	.799*	0,53	0,62	.933**	-0,33	.983**	.719*	1,00																								
La	.863**	.865**	.808*	.832*	.740*	.945**	.915**	.887**	.890**	.826*	.906**	.935**	0,63	0,50	.834*	-0,16	.911**	.734*	.941**	1,00																							
Cr	.980**	.979**	.851**	.966**	.909**	.892**	.993**	.873**	.997**	.874**	.940**	.727*	0,41	0,69	.966**	-0,28	.994**	0,60	.972**	.903**	1,00																						
Mg	.857**	.834*	.901**	.805*	0,68	.967**	.959**	.792**	.907**	.833*	.938**	.749*	0,66	0,69	.910**	-0,35	.948**	.840**	.971**	.910**	.919**	1,00																					
Ba	.923**	.916**	.921**	.913**	.831*	.897**	.988**	.826*	.965**	.819*	.923**	0,71	0,55	0,71	.922**	-0,29	.973**	.723*	.977**	.897**	.976**	.953**	1,00																				
Ti	.979**	.961**	.849**	.972**	.920**	.845**	.969**	.920**	.983**	.772*	.904**	0,68	0,40	.715*	.960**	-0,22	.972**	0,58	.943**	.871**	.975**	.895**	.948**	1,00																			
Al	.762*	.729*	.955**	.725*	0,59	.914**	.867**	.796*	.804*	0,67	.858**	.732*	.734*	.750*	.777**	-0,42	.839**	.928**	.880**	.865**	.825*	.931**	.893**	.808*	1,00																		
Na	0,51	0,46	.817*	0,45	0,29	.803*	0,65	0,64	0,55	0,46	0,66	0,69	.861**	0,60	0,53	-0,33	0,61	.977**	0,69	.751*	0,58	.790*	0,69	0,57	.930**	1,00																	
K	0,43	0,42	.849**	0,42	0,27	0,67	0,62	0,39	0,54	0,46	0,69	0,39	0,51	0,58	0,52	.740*	0,58	.793*	0,66	0,51	0,55	.725*	0,67	0,51	.801*	.738*	1,00																
W	.949**	.960**	0,68	.981**	.000**	0,65	.857**	.856**	.923**	.709*	.778*	0,57	0,10	0,61	.864**	-0,14	.870**	0,27	.806*	.740*	.909**	0,68	.831*	.920**	0,59	0,29	0,27	1,00															
Zr	0,50	0,52	.722*	0,55	0,45	0,56	0,64	0,44	0,62	0,47	.711*	0,41	0,23	0,26	0,56	-0,55	0,62	0,46	0,70	0,50	0,60	0,65	0,65	0,60	0,56	0,38	.758*	0,45	1,00														
Sn	.900**	.895**	.943**	.909**	.833*	.866**	.946**	.872**	.930**	.740*	.888**	.737*	0,56	.721*	.855**	-0,30	.925**	.730*	.934**	.899**	.944**	.900**	.972**	.921**	.918**	.738*	0,66	.833*	0,58	1,00													
Be	.949**	.960**	0,68	.981**	.000**	0																																					

[illegible]

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	U	Th	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Ca	P	La
Mo	1																			
Cu	0,608	1																		
Pb	-0,247	0,116	1																	
Zn	0,612	,914 ^{**}	0,085	1																
Ag	0,142	0,703	0,691	0,564	1															
Ni	,772 [*]	0,442	-0,433	0,369	-0,122	1														
Co	,767 [*]	,741 [*]	-0,209	0,682	0,216	,847 ^{**}	1													
Mn	0,598	0,226	0,291	0,434	0,204	0,294	0,243	1												
Fe	,922 ^{**}	,785 [*]	-0,206	,844 ^{**}	0,281	0,663	,831 [*]	0,528	1											
As	0,140	0,327	-0,415	0,100	0,044	0,444	0,215	-0,298	0,079	1										
U	0,239	0,004	0,410	-0,093	0,361	-0,236	-0,296	0,371	0,038	-0,143	1									
Th	-0,262	-0,189	,715 [*]	-0,296	0,416	-0,626	-0,526	0,043	-0,363	-0,409	,800 [*]	1								
Sr	-0,493	-0,472	0,370	-0,636	-0,033	-0,360	-0,274	-0,440	-0,579	-0,442	0,072	0,517	1							
Cd	0,255	0,400	0,063	0,450	0,018	0,460	0,690	0,052	0,399	-0,150	-0,547	-0,379	0,047	1						
Sb	,713 [*]	0,601	-0,503	0,428	0,064	0,695	,790 [*]	-0,124	,709 [*]	0,369	-0,071	-0,366	-0,178	0,332	1					
Bi	,826 [*]	,746 [*]	-0,004	,822 [*]	0,343	0,588	0,627	0,690	,853 ^{**}	0,239	0,190	-0,240	-,759 [*]	0,298	0,408	1				
V	,930 ^{**}	0,685	-0,289	,743 [*]	0,153	0,667	,823 [*]	0,469	,979 ^{**}	-0,002	0,042	-0,349	-0,475	0,414	,767 [*]	,767 [*]	1			
Ca	0,199	-0,395	-0,705	-0,353	-,761 [*]	0,479	0,266	-0,122	0,068	-0,065	-0,423	-0,551	0,167	0,159	0,352	-0,251	0,210	1		
P	0,678	0,404	0,170	0,205	0,422	0,329	0,353	0,339	0,493	0,038	,755 [*]	0,441	0,053	-0,132	0,538	0,423	0,524	-0,100	1	
La	-0,086	-0,122	0,621	-0,220	0,408	-0,528	-0,469	0,159	-0,219	-0,348	,912 ^{**}	,974 ^{**}	0,365	-0,457	-0,264	-0,088	-0,203	-0,532	0,574	1
Cr	,869 ^{**}	0,267	-0,457	0,233	-0,239	,854 ^{**}	,726 [*]	0,366	0,698	0,101	0,063	-0,360	-0,189	0,316	,746 [*]	0,502	,783 [*]	0,609	0,573	-0,223
Mg	,730 [*]	0,320	-0,621	0,378	-0,339	,878 ^{**}	,821 [*]	0,240	,709 [*]	0,151	-0,419	-,751 [*]	-0,342	0,528	,708 [*]	0,464	,767 [*]	0,698	0,145	-0,662
Ba	0,009	0,508	0,493	0,401	0,630	-0,055	0,430	-0,153	0,222	-0,321	-0,141	0,194	0,435	0,546	0,263	-0,031	0,214	-0,235	0,174	0,083
Ti	0,553	0,086	0,144	0,249	0,069	-0,026	0,019	0,676	0,467	-0,509	0,683	0,404	-0,207	-0,126	0,074	0,472	0,516	-0,099	0,575	0,549
Al	0,257	0,338	-0,140	0,330	0,028	0,593	,754 [*]	-0,001	0,377	-0,006	-0,694	-0,622	0,095	,708 [*]	0,414	0,090	0,381	0,471	-0,139	-0,691
Na	-0,515	-,752 [*]	-0,102	-,746 [*]	-0,557	-0,073	-0,270	-0,296	-0,627	-0,233	-0,423	-0,145	0,620	0,009	-0,356	-,749 [*]	-0,546	0,616	-0,457	-0,278
K	-0,393	-0,036	0,607	-0,011	0,314	-0,119	0,036	0,081	-0,283	-0,291	-0,376	0,014	0,397	0,359	-0,460	-0,252	-0,357	-0,137	-0,373	-0,159
W	,841 ^{**}	0,664	0,144	,778 [*]	0,344	0,472	0,617	,756 [*]	,869 ^{**}	-0,138	0,301	-0,033	-0,514	0,398	0,394	,913 ^{**}	,835 ^{**}	-0,192	0,535	0,101
Zr	0,175	-0,081	0,500	-0,029	0,292	-0,374	-0,376	0,532	0,038	-0,427	,926 ^{**}	,795 [*]	0,027	-0,445	-0,278	0,210	0,043	-0,449	0,569	,889 ^{**}
Sn	0,656	0,548	0,222	,750 [*]	0,357	0,350	0,411	,900 ^{**}	,709 [*]	-0,086	0,212	-0,127	-0,693	0,207	0,036	,890 ^{**}	0,607	-0,308	0,257	-0,006
Be	0,202	-0,163	0,135	-0,059	-0,249	0,507	0,261	0,543	0,051	-0,077	-0,209	-0,280	-0,031	0,404	-0,219	0,234	0,030	0,299	-0,114	-0,300
Sc	,831 [*]	0,625	-0,383	,761 [*]	-0,006	,778 [*]	,802 [*]	0,538	,899 ^{**}	0,201	-0,246	-0,660	-,729 [*]	0,487	0,567	,846 ^{**}	,865 ^{**}	0,224	0,170	-0,531
Y	0,514	0,245	0,307	0,213	0,409	-0,019	-0,049	0,584	0,358	-0,086	,935 ^{**}	0,590	-0,225	-0,419	0,088	0,503	0,338	-0,409	,801 [*]	,750 [*]
Ce	-0,067	-0,113	0,602	-0,216	0,409	-0,514	-0,462	0,161	-0,205	-0,327	,923 ^{**}	,967 ^{**}	0,350	-0,476	-0,245	-0,078	-0,190	-0,525	0,592	,999 ^{**}
Pr	-0,003	-0,079	0,568	-0,177	0,410	-0,473	-0,434	0,207	-0,147	-0,300	,949 ^{**}	,943 ^{**}	0,285	-0,495	-0,209	-0,016	-0,135	-0,520	0,629	,994 ^{**}
Nd	0,024	-0,062	0,542	-0,165	0,414	-0,453	-0,420	0,212	-0,124	-0,273	,960 ^{**}	,929 ^{**}	0,259	-0,518	-0,182	0,002	-0,113	-0,513	0,650	,988 ^{**}
Sm	0,125	0,003	0,484	-0,097	0,424	-0,376	-0,357	0,271	-0,028	-0,220	,982 ^{**}	,878 ^{**}	0,164	-0,536	-0,111	0,094	-0,022	-0,497	,707 [*]	,962 ^{**}
Eu	0,540	0,222	0,241	0,143	0,374	0,069	-0,019	0,544	0,340	0,014	,934 ^{**}	0,551	-0,197	-0,462	0,149	0,473	0,325	-0,326	,848 ^{**}	,717 [*]
Gd	0,271	0,077	0,375	-0,015	0,396	-0,248	-0,261	0,344	0,103	-0,138	,992 ^{**}	,783 [*]	0,026	-0,536	-0,005	0,225	0,108	-0,448	,769 [*]	,903 ^{**}
Tb	0,335	0,099	0,331	0,041	0,375	-0,194	-0,237	0,438	0,167	-0,111	,983 ^{**}	,711 [*]	-0,092	-0,555	-0,012	0,310	0,160	-0,435	,755 [*]	,850 ^{**}
Dy	0,431	0,161	0,327	0,100	0,393	-0,091	-0,133	0,505	0,254	-0,103	,972 ^{**}	0,666	-0,116	-0,488	0,053	0,387	0,246	-0,398	,807 [*]	,814 [*]
Ho	0,562	0,221	0,196	0,171	0,337	0,081	-0,020	0,581	0,369	0,018	,913 ^{**}	0,500	-0,270	-0,471	0,140	0,510	0,351	-0,311	,815 [*]	0,677
Er	0,704	0,275	0,090	0,328	0,226	0,217	0,119	,744 [*]	0,545	-0,044	,776 [*]	0,300	-0,455	-0,303	0,175	0,683	0,528	-0,213	,724 [*]	0,496
Tm	0,701	0,265	0,043	0,267	0,166	0,347	0,148	0,700	0,492	0,161	,730 [*]	0,225	-0,489	-0,271	0,191	,713 [*]	0,462	-0,197	0,703	0,419
Yb	,822 [*]	0,417	-0,019	0,498	0,221	0,388	0,310	,795 [*]	,709 [*]	0,036	0,600	0,071	-0,609	-0,165	0,287	,817 [*]	0,676	-0,140	0,660	0,276
Lu	,902 ^{**}	0,526	0,028	0,491	0,313	0,671	0,581	,750 [*]	,749 [*]	0,174	0,465	-0,040	-0,440	0,033	0,454	,802 [*]	,710 [*]	-0,004	,754 [*]	0,132
Hf	0,190	-0,074	0,471	-0,030	0,288	-0,355	-0,378	0,533	0,044	-0,374	,938 ^{**}	,779 [*]	-0,010	-0,481	-0,266	0,228	0,044	-0,451	0,580	,882 ^{**}
Li	-0,090	0,533	,758 [*]	0,382	,872 ^{**}	-0,068	0,240	0,068	0,051	0,016	0,031	0,276	0,211	0,258	-0,081	0,113	-0,075	-0,601	0,144	0,176

Rb	-0,024	0,277	0,238	0,265	0,269	0,382	0,423	0,161	0,071	0,190	-0,556	-0,447	-0,043	0,450	-0,096	0,122	-0,041	0,009	-0,310	-0,544
Ta	0,384	-0,131	0,207	0,109	-0,089	-0,107	-0,115	,721*	0,291	-0,643	0,568	0,381	-0,138	-0,069	-0,174	0,359	0,342	-0,046	0,352	0,487
Nb	0,567	0,039	0,153	0,265	-0,023	0,079	0,094	,798*	0,484	-0,576	0,529	0,265	-0,228	0,028	-0,003	0,508	0,528	0,005	0,448	0,392
Cs	0,607	,882**	0,048	,836**	0,561	0,645	,843**	0,343	,752*	0,339	-0,247	-0,457	-0,463	0,477	0,516	0,694	0,642	-0,134	0,233	-0,412
Ga	-0,067	0,101	0,282	0,077	0,166	0,362	0,371	0,152	-0,034	0,037	-0,508	-0,345	0,179	0,460	-0,137	-0,025	-0,106	0,145	-0,263	-0,461
In	0,502	0,237	0,006	0,479	0,023	0,095	0,035	,730*	0,496	-0,093	0,383	0,017	-,732*	-0,056	-0,071	,747*	0,446	-0,296	0,188	0,172
Te	0,008	-0,234	-0,448	-0,162	-0,385	-0,034	0,123	-0,294	0,082	-0,451	-0,311	-0,221	0,347	0,085	0,321	-0,424	0,229	0,684	-0,077	-0,241
Tl	-0,062	0,104	0,164	0,091	0,127	0,365	0,400	0,090	0,001	0,034	-0,590	-0,439	0,164	0,429	-0,068	-0,075	-0,061	0,243	-0,301	-0,550

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

c. Não é possível calcular porque pelo menos uma das variáveis é constante.

[illegible]

-0,040	0,227	0,319	-0,573	,732 [*]	0,303	,810 [*]	-0,016	-0,554	0,215	0,596	0,248	-0,477	-0,553	-0,571	-0,578	-0,586	-0,444	-0,604	-0,577	-0,520
0,271	0,028	-0,207	,946 ^{**}	-0,385	-0,268	-0,279	0,606	,790 [*]	0,553	0,175	0,203	0,656	0,484	0,515	0,509	0,531	0,574	0,566	0,608	0,625
0,430	0,202	-0,138	,960 ^{**}	-0,237	-0,341	-0,283	,741 [*]	,726 [*]	0,662	0,219	0,384	0,677	0,392	0,433	0,433	0,474	0,606	0,535	0,588	0,627
0,363	0,517	0,439	-0,106	0,642	-0,421	0,246	0,570	-0,315	0,582	0,196	,722 [*]	0,017	-0,404	-0,374	-0,357	-0,290	0,028	-0,211	-0,163	-0,077
0,020	0,224	0,337	-0,534	,754 [*]	0,493	,868 ^{**}	-0,086	-0,501	0,100	0,686	0,129	-0,487	-0,472	-0,501	-0,514	-0,538	-0,442	-0,576	-0,568	-0,508
0,199	0,113	-0,416	,739 [*]	-0,422	-0,651	-0,434	,735 [*]	0,556	,813 [*]	0,129	0,538	0,611	0,177	0,234	0,242	0,308	0,528	0,408	0,502	0,521
0,256	0,372	0,242	0,053	0,371	0,380	-0,105	-0,205	-0,259	-0,398	-0,293	-0,010	-0,333	-0,239	-0,251	-0,247	-0,256	-0,330	-0,267	-0,298	-0,301
0,040	0,292	0,355	-0,567	,821 [*]	0,523	,835 ^{**}	-0,136	-0,587	0,048	0,596	0,155	-0,556	-0,559	-0,586	-0,594	-0,613	-0,507	-0,645	-0,633	-0,576

[illegible]

-0,452	-0,397	-0,307	-0,246	0,092	-0,560	0,617	1							
0,604	,730*	0,607	0,661	0,405	,774*	-0,329	-0,478	1						
0,638	,789*	0,669	,763*	0,562	,712*	-0,276	-0,385	,975**	1					
0,034	0,134	0,158	0,333	0,572	-0,307	0,556	0,639	-0,242	-0,044	1				
-0,462	-0,426	-0,343	-0,312	0,062	-0,515	0,570	,962**	-0,405	-0,329	0,495	1			
0,589	,773*	,742*	,806*	0,511	0,570	-0,290	-0,308	,740*	,761*	0,103	-0,415	1		
-0,328	-0,290	-0,459	-0,263	-0,276	-0,285	-0,368	-0,235	0,023	0,044	-0,182	-0,127	-0,378	1	
-0,522	-0,480	-0,424	-0,347	0,021	-0,600	0,518	,950**	-0,459	-0,372	0,514	,981**	-0,476	0,031	1

ANEXO 6 – Matriz de correlação das variáveis em estudo nas amostras de águas de superfície.

Correlações Águas																									
	Cl	SO4	Be	Na	Mg	K	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	As	Mo	Cd	Ba	Tl	Pb	Th	U	Cond	pH	
Cl	1																								
SO4	,967**	1																							
Be	-,976**	-,997**	1																						
Na	,978**	,994**	-,998**	1																					
Mg	,979**	,994**	-,998**	1,000**	1																				
K	,972**	,983**	-,984**	,992**	,992**	1																			
Ca	,977**	,995**	-,996**	,999**	,999**	,995**	1																		
V	,896**	,889**	-,900**	,913**	,913**	,915**	,916**	1																	
Cr	,946**	,922**	-,920**	,928**	,931**	,960**	,941**	,876**	1																
Mn	0,394	0,377	-0,341	0,333	0,336	0,357	0,347	0,008	0,429	1															
Fe	-,844**	-,905**	,916**	-,922**	-,918**	-,905**	-,909**	-,794*	-,761*	-0,212	1														
Co	,984**	,990**	-,993**	,996**	,995**	,985**	,993**	,887**	,921**	0,394	-,912**	1													
Ni	,875**	,795*	-,817*	,832*	,829*	,843**	,822*	0,653	,821*	0,546	-,789*	,859**	1												
Cu	0,297	0,270	-0,307	0,269	0,274	0,248	0,257	0,098	0,284	0,163	-0,274	0,252	0,354	1											
As	,902**	,951**	-,943**	,940**	,939**	,915**	,940**	,860**	,822*	0,296	-,870**	,940**	0,698	0,102	1										
Mo	,968**	,998**	-,998**	,997**	,997**	,989**	,997**	,895**	,927**	0,360	-,919**	,991**	,811*	0,288	,939**	1									
Cd	0,077	0,131	-0,082	0,081	0,080	0,104	0,093	-0,256	0,107	,885**	-0,096	0,142	0,287	-0,092	0,092	0,117	1								
Ba	,967**	,973**	-,979**	,987**	,987**	,991**	,989**	,959**	,948**	0,243	-,893**	,973**	,801*	0,229	,915**	,979**	-0,022	1							
Tl	0,678	,764*	-,780*	,791*	,784*	,764*	,771*	,707*	0,567	-0,018	-,957**	,772*	0,632	0,166	,769*	,782*	-0,030	,768*	1						
Pb	0,132	0,162	-0,143	0,189	0,187	0,304	0,217	0,280	0,391	0,051	-0,197	0,148	0,194	-0,176	0,039	0,191	0,093	0,287	0,169	1					
Th	-,976**	-,997**	1,000**	-,998**	-,998**	-,984**	-,996**	-,900**	-,920**	-0,341	,916**	-,993**	-,817*	-0,307	-,943**	-,998**	-0,082	-,979**	-,780*	-0,143	1				
U	,948**	,954**	-,970**	,974**	,973**	,950**	,964**	,926**	,850**	0,172	-,931**	,967**	,795*	0,244	,908**	,962**	-0,056	,965**	,845**	0,109	-,970**	1			
Cond	,988**	,989**	-,994**	,995**	,996**	,990**	,995**	,893**	,948**	0,392	-,897**	,994**	,859**	0,321	,913**	,993**	0,114	,980**	,743*	0,191	-,994**	,960**	1		
pH	,810*	,845**	-,846**	,850**	,844**	,824*	,839**	0,684	0,695	0,375	-,882**	,868**	,779*	0,116	,922**	,840**	0,239	,797*	,813*	-0,011	-,846**	,820*	,822*	1	

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

* . A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

